

Spezielle Unfallchirurgie

Herausgegeben von
James P. Stannard
Andrew H. Schmidt
Andreas Wentzensen
Florian Gebhard
Paul A. Grützner
Steffen Ruchholtz
Ulrich Stöckle

Unter Mitarbeit von René Aigner

2. Auflage

 Online-Version in der eRef

Spezielle Unfallchirurgie

Herausgegeben von

James P. Stannard, M.D., Andrew H. Schmidt, M.D.

Herausgeber der deutschen Ausgabe

Andreas Wentzensen, Florian Gebhard,

Paul A. Grützner, Steffen Ruchholtz, Ulrich Stöckle

Unter Mitarbeit von

René Aigner

Mit Beiträgen von

Mark R. Adams

René Aigner

David P. Barei

Simon Bauknecht

Carlo Bellabarba

Richard J. Bransford

Karl Friedrich Braun

J. Scott Broderick

Lance M. Brunton

Benjamin Bücking

Lisa K. Cannada

John T. Capo

Theodore J. Choma

Peter A. Cole

Cory Collinge

Brett D. Crist

Christoph Dehner

Gregory J. Della Rocca

Kyle F. Dickson

Nikola Marko Dobrasevic

Derek Dombroski

Gregory Carl Fanelli

Johan Charles France

Christian Frank

Thomas Freude

Michael J. Gardner

Florian Gebhard

Gertraud Gradl

Thomas J. Graham

Matt L. Graves

Paul A. Grützner

Neil G. Harness

Keith Heier

James P. Higgins

Valeska Isabel Hofmann

Harry A. Hoyer

Aaron R. Jacobson

Stephen L. Kates

Benjamin König

Philip J. Kregor

Antonio Krüger

Christian A. Kühne

Craig A. Kuhns

William D. Lack

Ari D. Levine

Frank A. Liporace

Martin Lucke

Jonathan B. Macknin

Meir Marmor

Steven L. Martin

Amir Matityahu

Daniel Matte

Samir Mehta

Erika J. Mitchell

Markus Neumaier

Sean E. Nork

Brent L. Norris

Jan Freiherr von Recum

Mark C. Reilly

Peter Richter

David Ring

Götz Röderer

Steffen Ruchholtz

Thomas A. Russell

David W. Sanders

Andrew H. Schmidt

Clemens Schopper

Markus Schultheiß

Konrad Schütze

Stephen Andrews Sems

Ben Shamian

Stephen H. Sims

Richard Southgate

James P. Stannard

Jared Joseph Stefanko

David Stephen

Ulrich Stöckle

Michael D. Stover

Steven M. Theiss

David A. Volgas

Christof Wagner

J. Tracy Watson

Timothy G. Weber

Andreas Wentzensen

Richard S. Yoon

Michael P. Zlowodzki

2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

1587 Abbildungen

Georg Thieme Verlag

Stuttgart • New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im
Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter:
www.thieme.de/service/feedback.html

1. deutsche Auflage 2012

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Germany
www.thieme.de

Titel der Originalausgabe:
Surgical Treatment of Orthopaedic Trauma
© 2007, 2016 Thieme Medical Publishers, Inc.
333 Seventh Ave.
New York, NY 10001

Zeichnungen: Andy Evanson, Anthony M. Pazos, Birck Cox; Martin Hoffmann,
Neu-Ulm; Agnieszka & Martin Waletzko, Leonberg
Umschlaggestaltung: Thieme Group
Umschlaggrafik: Martina Berge, Stadtbergen unter Verwendung einer
Grafik von © Sebastian Kaulitzki/Fotolia.de
Redaktion: Dr. Catharina Brandes, Gmund
Satz: Druckhaus Götz GmbH, 71636 Ludwigsburg; gesetzt in 3B2,
Version 9.1, Unicode
Druck: aprinta druck GmbH, Wemding

Printed in Germany

DOI 10.1055/b-006-160388

ISBN 978-3-13-147352-3

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-165222-5
eISBN (epub) 978-3-13-204732-7

Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®) werden nicht immer besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen oder die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Wo datenschutzrechtlich erforderlich, wurden die Namen und weitere Daten von Personen redaktionell verändert (Tarnnamen). Dies ist grundsätzlich der Fall bei Patienten, ihren Angehörigen und Freunden, z. T. auch bei weiteren Personen, die z. B. in die Behandlung von Patienten eingebunden sind.

Vorwort zur 2. deutschen Auflage

Nicht ohne Grund war bereits die erste englischsprachige Ausgabe der Speziellen Unfallchirurgie von Stannard und Koautoren auf großes Interesse in Deutschland gestoßen: Die Herausgeber der amerikanischen Erstausgabe sprachen von ihrer Vision eines idealen Lehrbuchs der Unfallchirurgie.

Nunmehr liegt die 2. Auflage des „Stannard“ auch in der deutschen Übersetzung vor. Das Buch hat an Umfang zugenommen und enthält jetzt 36 Kapitel. Es wurde ein Kapitel „Frakturbehandlung geriatrischer Patienten“ hinzugefügt und das Kapitel „Behandlungsstrategie für Pseudarthrosen und Fehlstellungen“ wurde in zwei Kapitel unterteilt.

Neben den Hinweisen auf Tipps und Tricks, Ergebnisse („Outcomes“) sowie „Pearls“, die in der ersten Ausgabe alle Kapitel durchgehend begleiteten, wurde ein neuer Abschnitt aufgenommen: „Überleben der Nacht“ („Surviving the Night“), durchlaufend in allen Kapiteln, wo dies von Bedeutung sein kann. Nach Ansicht der Autoren sollen gerade auch diese Kapitel die diensthabenden Ärzte darauf hinweisen, was als erstes am wichtigsten ist und keinesfalls versäumt werden darf.

Dabei werden nicht nur der Ablauf der Operation und die angewandten Techniken dargestellt, sondern jeder einzelne Schritt – von der Lagerung, Durchleuchtung, chirurgischen Zugangsmöglichkeiten, Repositionstechnik und Stabilisierung, einschließlich alternativer Techniken und die Begleit- und Nachbehandlung – beschrieben und gegebenenfalls auch kritisch gegeneinander abgewogen sowie durch umfangreiches Bildmaterial dokumentiert.

Ein wichtiger Bestandteil sind die Hinweise auf Ergebnisse und die möglichen Komplikationen, die entsprechende aktuelle Literatur ist verzeichnet. Mit Hilfe dieses Buches soll es möglich sein, bei unterschiedlichen schweren Verletzungsmustern abzuwägen und rasch die richtigen Entscheidungen zu treffen.

Der präzise straff gefasste Text mit den Hinweisen in Praxistipp und „Merke-Boxen“ machen dieses Buch zu einem aktuellen Nachschlagewerk für die moderne Unfallchirurgie. Schon in der englischsprachigen Fassung war das Buch auf Interesse in Deutschland gestoßen, zumal es einen Bereich besetzte, der nicht durch eine vergleichbare deutschsprachige Publikation abgedeckt war.

Die deutschsprachigen Herausgeber und Autoren, die das Werk übersetzten, haben auf die Kompatibilität des Stoffes mit der Realität in Deutschland geachtet.

Erneut danken wir den Herausgebern und Autoren, die die Übersetzung der Kapitel einschließlich einiger Anpassungen, Überarbeitungen und Kapitelergänzungen vorgenommen haben. Wir danken den Mitarbeitern des Thieme Verlages für die zuverlässige redaktionelle Bearbeitung und wünschen dem Buche in den deutschsprachigen Ländern erneut eine weite Verbreitung.

Die Herausgeber der deutschsprachigen Ausgabe

Andreas Wentzensen

Florian Gebhard

Paul A. Grützner

Steffen Ruchholtz

Ulrich Stöckle

Geleitwort zur Originalausgabe

Orthopaedic trauma has evolved into a mature subspecialty of orthopaedic surgery, if not a specialty of its own. Thirty-five to forty years ago, a few centers in Europe and North America began to promote the concept that orthopaedic or fracture care of the injured patient required a more involved and detailed management than had previously been the standard. This was the result of the increased number of complex high-energy injuries, the development of trauma centers, and the quest for better results. Research showed the need for understanding the importance of fractures within the overall management of the injured patient, as well as the need to better understand fracture healing and the soft tissue response to both trauma and operative fracture fixation. As a result, our knowledge of injury and our armamentarium of management options have expanded. *Surgical Treatment of Orthopaedic Trauma*, edited by Stannard and Schmidt, provides an up-to-date and comprehensive treatise on the management of the injured patient with musculoskeletal injury.

The editors recognized the need for the reader to be aware of all important aspects of trauma care. Thus, the spectrum of the initial care for the injured patient is presented in an excellent chapter on the interaction of physiology and injury that discusses the range of management from early total care to damage control in a logical sequence. The importance of soft tissue and the sequelae of infection, compartment syndrome, and healing problems are mandatory reading before launching into the specific fracture management chapters. Finally, in-depth reviews of the problems of nonunion, malunion, and geriatric fracture care provide the reader with an understanding of what to do to in fracture fixation to avoid problems and how to manage them should they occur.

The chapters on specific fractures provide up-to-date, in-depth discussions of management for each type of fracture. Another section contains chapters on spine fractures and their operative stabilization; these are concisely written and worth reading for the nonspinal surgeon to gain an understanding of the current philosophy of spinal trauma. The chapters on specific fractures provide the important biological and mechanical information necessary to understand present-day therapy, along with excellent descriptions of the accepted techniques. These chapters demonstrate how acceptable outcomes can now be achieved using the principles of fracture healing and mechanics to perform safe and effective surgery for every type of fracture. These chapters present the evolution of orthopaedic trauma care in very practical terms, showing how operative fracture care is now the norm for nearly all fractures.

The editors have chosen to present this information so that the reader is presented with a variety of learning methods. The text is written by expert surgeons who are implementing their recommendations on a daily basis; this is important for the reader to appreciate, as what is presented and summarized in the tips and pearls is the result of a vast amount of hands-on experience. To support the text, each chapter is expertly illustrated and accompanied by videos of many of the described procedures. The opportunity to simultaneously read an expert's description of a procedure and watch it being performed should provide the surgeon with the best learning environment possible next to being personally present at the procedure.

This book is probably best appreciated by the surgeon who has had some experience in the management of fractures and the injured patient. It is most definitely a book that the orthopaedic trauma surgeon will find interesting and helpful, as it brings together in an unbiased way the results of forty years of operative fracture care evolution. The surgeon who is interested in fracture care and taking call will also find this book extremely helpful, as it provides present-day treatment as well as important advice regarding what to do in the acute setting and when to refer a patient. For the more experienced resident, this book will aid in preparation for those more difficult cases during their senior years of training and will help as they enter practice and are on call.

Dr. Stannard and Dr. Schmidt are to be congratulated in undertaking the second edition of their text. It is an extremely difficult and a time-consuming task to manage dozens of authors, review their manuscripts, and assure video production of excellent quality. The chapter authors are also to be credited with producing very succinct yet in-depth reviews of their topics and, most importantly, providing the reader with their valuable experience. Both the editors and authors have done a tremendous job offering the fracture surgeon a very worthwhile and important addition to our evolving knowledge in orthopaedic trauma. On behalf of all those who will have the opportunity to read the text, I want to thank Drs. Stannard and Schmidt and all their authors for the time and effort that they have put into creating a comprehensible and readable text of the state of the art of orthopaedic trauma.

James F. Kellam B.Sc., M.D., F.R.C.S.(C), F.A.C.S.,
F.R.C.S. (I) Hon.
Visiting Professor
Department of Orthopaedic Surgery
The University of Texas Health Science Center
Houston Medical School
Houston, Texas

Vorwort zur Originalausgabe

When we published the first edition of *Surgical Treatment of Orthopaedic Trauma* (STOT) in 2007, we did not know it would become a best-selling and award-winning comprehensive orthopaedic trauma text. The success of the first edition validated our opinion that orthopaedic surgeons needed a concise text that would guide the reader to the key elements of surgical treatment of skeletal trauma. However, much has changed in the clinical practice of orthopaedic trauma over the past 8 years. With that in mind, STOT has been revised and updated in order to remain current.

Our goal with this second edition was to keep the popular elements of the first edition intact, while adding some new features. In addition to the Tips and Tricks, Outcomes, and Pearls sections that were featured in the first edition, we have added a new section called Surviving The Night. The goal of this section is to provide a concise place in each chapter that the reader can go to find out what needs to be considered to make sure a patient with the injury featured “survives the night.” It should be a great benefit to residents who can turn to that area first, and make sure they don’t overlook key issues that must be addressed. We also believe it will be of great benefit to practicing orthopaedic surgeons who take call but do not consider trauma their primary subspecialty. It is our hope it will help those surgeons have a quick place they can turn and remind themselves regarding key issues that must be addressed to care for their patient in the first 24 hours.

We also recognize many surgeons learn best via visual instruction and that the videos of cases were extremely popular in the first edition. We have kept all of the prior 120+ videos and added an additional 32. Many of the new videos focus on complex reconstruction techniques or newer implants. All of them were shot in High Definition. We are again indebted to the Erwin Brothers motion

pictures for helping us with this project. They have provided their expertise at a cost far below the normal commercial rate, because they are friends and believe in the project. They have done this while they are in the final stages of putting together their third feature length motion picture, a true story titled “Woodlawn.” We particularly want to thank Jon Erwin and Blake Benton for all of their support. Making these videos really appear professional required Jon’s guidance and resources and some very late nights with Blake editing the videos. They represent what we believe to be an enormous educational resource.

The first edition of STOT had Philip Kregor, MD, as an editor and key contributor. Phil has had a number of changes in his practice that required a great deal of time, and prevented him from full participation in this second edition. However, he did provide key contributions to both the first and second edition and so we have acknowledged that with his name on the front cover.

We hope you find this second version of *Surgical Treatment of Orthopaedic Trauma* even more valuable than the first edition. It has taken an enormous amount of time for many talented surgeons, writers, and videographers to put it together. The number of times we have been approached by residents, practicing surgeons, and even missionary physicians in remote third world locations and been told that the book was a major help in caring for their patients makes it all worthwhile. We greatly appreciate our families, who have borne much of the burden of the time required to complete this edition. We hope this book and the accompanying videos will help dedicated surgeons take great care of patients who have sustained skeletal trauma.

James P. Stannard, MD

Andrew H. Schmidt, MD

Inhaltsverzeichnis

1	Der schwerverletzte Patient	31
	<i>E. J. Mitchell, P. J. Kregor,</i> <i>Übersetzer: C. A. Kühne, R. Aigner</i>	
1.1	Einleitung	31
1.2	Untersuchung des schwerverletzten Patienten	31
1.3	Physiologische Veränderungen nach Trauma	32
1.3.1	Systemisches Inflammationsreaktions-syndrom (SIRS)	33
1.3.2	Multiorganversagen (MOV)	34
1.3.3	Frakturversorgung und SIRS – Second Hit.	34
1.4	Prioritätenadaptiertes Therapie-management	38
1.4.1	Versorgungszeitpunkt	39
1.4.2	Damage Control Orthopaedics (DCO).	39
1.4.3	Besonderheiten bei Schädel-Hirn-Trauma-Patienten	42
1.4.4	Ergebnisse	42
1.4.5	Scoring-Systeme	44
1.4.6	Spezialfälle	44
1.4.7	Fallbeispiele	45
1.5	Zusammenfassung	55
1.6	Literatur	56
2	Weichteilbehandlung	58
	<i>D. A. Volgas,</i> <i>Übersetzer: C. Schopper, G. Röderer, F. Gebhard</i>	
2.1	Einleitung	58
2.2	Anatomie	58
2.3	Initiale Einschätzung und Klassifikation	61
2.3.1	Klassifikation von Weichteilschäden	61
2.3.2	Klassifikation offener Frakturen	62
2.4	Einzelne Aspekte der Weichteil-behandlung	64
2.4.1	Inzision	64
2.4.2	Instrumentierung	64
2.4.3	Tourniquet	64
2.4.4	Hämostase	65
2.4.5	Innere Frakturreposition	65
2.4.6	„No-Touch“-Technik	65
2.5	Wundkonditionierung	65
2.5.1	Zeitpunkt für Antibiose und Débridement von offenen Frakturen	65
2.5.2	Abschwellung	66
2.5.3	Hauttraktion (Gummibänder und Klammern)	66
2.5.4	Unterdruck-Wundtherapie	66
2.5.5	Antibiotikaketten	67
2.5.6	Spannungsblasen	67
2.6	Rekonstruktive Chirurgie	68
2.6.1	Zeitpunkt für die Deckung	68
2.6.2	Verfahrenswahl	68
2.6.3	Spalthauttransplantate	68
2.6.4	Gastrocnemiuslappen	69
2.6.5	Soleuslappen	72
2.6.6	Axialer oder frei geformter fasziokutaner Lappen	73
2.6.7	Zweistieliger Lappen	74
2.6.8	Suralislappen	75
2.6.9	Andere Optionen zur Deckung	78
2.6.10	Ergebnisse	78
2.7	Literatur	78

3	Muskuloskelettale Infektionen nach Trauma	81		
	<i>J. T. Watson,</i> <i>Übersetzer: C. Wagner</i>			
3.1	Einleitung	81	3.3.3	Bildgebung
3.2	Präventive Maßnahmen	81	3.3.4	Kulturen
3.2.1	Débridement und Spülung.	81	3.4	Stadieneinteilung und Klassifikation ..
3.2.2	Systemische Antibiotikagabe.	82	3.5	Therapie
3.2.3	Innere oder äußere Frakturstabilisierung .	83	3.5.1	Grundlagen der Antibiotikatherapie bei muskuloskelettalen Infektionen
3.2.4	Perioperative Antibiotikaphylaxe	83	3.5.2	Subakute und akute Infektionen
3.2.5	Zeitpunkt des Wundverschlusses	83	3.5.3	Chronische Infektionen
3.2.6	Wahl des geeigneten Operationszeitpunkts.	84	3.6	Literatur
3.2.7	Temporäre externe Fixation	84		
3.3	Diagnostik	84		
3.3.1	Klinik	84		
3.3.2	Laborparameter	85		
4	Akutes Kompartmentsyndrom	121		
	<i>A. H. Schmidt, D. W. Sanders,</i> <i>Übersetzer: C. A. Kühne, R. Aigner</i>			
4.1	Pathogenetische Grundlagen	121	4.4	Therapie
4.2	Diagnosestellung	121	4.4.1	Konservative Therapie
4.2.1	Klinische Symptome	122	4.4.2	Operative Therapie
4.2.2	Intramuskuläre Druckmessung	123	4.4.3	Prognose und Ergebnisse
4.2.3	Bildgebung	124	4.4.4	Komplikationen
4.2.4	Weitere diagnostische Verfahren	125	4.4.5	Neue Entwicklungen
4.3	Klassifikation	125	4.5	Literatur
5	Entwicklung der Konzepte der Plattenosteosynthese	138		
	<i>A. Matityahu, M. Marmor,</i> <i>Übersetzer: C. Schopper, G. Röderer, F. Gebhard</i>			
5.1	Einleitung	138	5.6	Minimalinvasive Verplattung
5.2	Geschichte und Entwicklung der Plattenosteosynthese	138	5.7	Winkelstabile Platten und Platten-systeme
5.3	Praktische Anwendungen des Schraubendesigns	140	5.7.1	Indikationen für winkelstabile Verplattung
5.4	Konventionelle Kompressionsplatten ..	141	5.7.2	Komplikationen winkelstabiler Platten ...
5.4.1	Neutralisation, Überbrückung, Abstützung: Platten als Repositionshilfen .	141	5.7.3	Repositionshilfen für die winkelstabile Verplattung
5.5	Winkelstabile Platten-Schrauben-Konstruktionen	142	5.8	Ergebnisse
			5.9	Literatur

6	Pseudarthrose	151		
	<i>D. Stephen,</i> <i>Übersetzer: A. Wentzensen</i>			
6.1	Einleitung	151	6.4.4	Subtrochantäre Pseudarthrose
6.2	Klassifikation	151	6.4.5	Pseudarthrose des Femurschafts
6.3	Diagnosestellung	151	6.4.6	Pseudarthrose des distalen Femurs
6.4	Operative Behandlung	152	6.4.7	Pseudarthrose der Tibia
6.4.1	Pseudarthrose der Klavikula	153	6.5	Ergebnisse
6.4.2	Pseudarthrose des Humerusschafts	153	6.6	Komplikationen
6.4.3	Pseudarthrose des Femurhalses	155	6.7	Literatur
7	Fehlstellungen	165		
	<i>M. L. Graves,</i> <i>Übersetzer: A. Wentzensen</i>			
7.1	Einleitung	165	7.5	Operative Behandlung
7.2	Ursachenfindung – Fehleranalyse	166	7.5.1	Indikationsstellung
7.2.1	Basisprinzipien	166	7.5.2	Präoperative Planung
7.2.2	Mitwirkende Faktoren	166	7.5.3	Chirurgische Zugänge
7.2.3	Management	169	7.5.4	Auswahl der Osteotomie
7.3	Charakterisierung der Deformität	170	7.5.5	Korrektur der Deformität
7.3.1	Darstellung auf Röntgenbildern	170	7.5.6	Implantate zur Stabilisierung
7.3.2	Management	178	7.6	Ergebnisse
7.4	Konservative Behandlung	179	7.7	Komplikationen
8	Frakturen bei geriatrischen Patienten	188	7.8	Literatur
	<i>R. Southgate, S. L. Kates,</i> <i>Übersetzer: B. Bücking</i>			
8.1	Demografie	188	8.6	Osteoporose
8.2	Mortalität	188	8.6.1	Prävalenz
8.2.1	Hochrasanztrauma	188	8.6.2	Pathophysiologie und Diagnostik
8.2.2	Niedrigrasanztrauma	189	8.6.3	Osteoporose-assoziierte Frakturen
8.3	Behandlungssetting	190	8.6.4	Therapie
8.4	Unfallmechanismen	190	8.7	Sekundärprävention von Frakturen ...
8.5	Physiologie und Nebenerkrankungen .	191	8.7.1	Vitamin-D-Supplementation
			8.7.2	Sturzprävention

8.8	Präoperatives Management	195	8.10	Komplikationen und unerwünschte Ereignisse	205
8.8.1	Optimierung der Medikation.	195	8.10.1	Weichteile	205
8.8.2	Behandlung von Komorbiditäten	196	8.10.2	Herz.	205
8.8.3	Interdisziplinäres Behandlungsmodell. ...	197	8.10.3	Lunge.	205
8.8.4	Notwendigkeit einer kardiologischen Vorstellung.	198	8.10.4	Niere	205
8.8.5	Flüssigkeitsmanagement	198	8.10.5	Leber	206
8.8.6	Anästhesiologische Überlegungen	198	8.10.6	Delir.	206
8.8.7	Timing der Operation	198	8.10.7	Infektion	206
8.9	Orthopädisch-unfallchirurgisches Management	199	8.10.8	Spezielles Management	207
8.9.1	Damage Control Orthopedics	199	8.11	Ergebnisse.	207
8.9.2	Early Total Care	201	8.12	Fazit	209
8.9.3	Periartikuläre Frakturen.	201	8.13	Literatur.	210
8.9.4	Periprothetische Frakturen	203			
8.9.5	Operationszeitpunkt.	203			
8.9.6	Implantatwahl	204			
8.9.7	Weitere Überlegungen	204			
9	Verletzungen der oberen Halswirbelsäule	214			
	<i>C. Bellabarba, R. J. Bransford,</i>				
	<i>Übersetzer: K. Schütze, C. Dehner;</i>				
	<i>Frühere Übersetzer: C. Dehner, F. Gebhard</i>				
9.1	Einleitung	214	9.4	Operative Therapie.	231
9.2	Konservative Therapie.	214	9.4.1	Chirurgische Optionen	231
9.2.1	Allgemeine Konzepte	214	9.4.2	Patientenlagerung	232
9.2.2	Zervikalstütze	215	9.4.3	Radiologische Bildgebung	232
9.3	Verletzungsklassifikation und Indikationen zur operativen Therapie. ..	215	9.4.4	Chirurgische Zugänge	232
9.3.1	Okzipitale Kondylenfraktur	215	9.4.5	Chirurgische Technik	234
9.3.2	Kraniozervikale Dissoziation	215	9.5	Postoperative Nachbehandlung	243
9.3.3	Atlasfraktur	218	9.6	Neue Technologien	243
9.3.4	Atlantoaxiale Instabilität	220	9.7	Ergebnisse und Komplikationen.	243
9.3.5	Distraktionsverletzung	222	9.7.1	Verletzungsspezifische Ergebnisse und Komplikationen	244
9.3.6	Densfraktur	222	9.7.2	Behandlungsspezifische Ergebnisse und Komplikationen	247
9.3.7	Traumatische Spondylolisthese des Dens axis (Hangman-Fraktur).	226	9.8	Literatur.	251

10	Verletzungen der unteren Halswirbelsäule	254
	<i>J. C. France, J. J. Stefanko,</i> <i>Übersetzer: K. Schütze, C. Dehner;</i> <i>Frühere Übersetzer: C. Dehner, F. Gebhard</i>	
10.1	Einleitung	254
10.2	Unfalleinschätzung und Klassifikation .	254
10.2.1	Neurologischer Status.	254
10.2.2	ASIA Impairment Scale.	255
10.2.3	Mechanisch orientierte Klassifikation	255
10.2.4	Klassifikation nach Verletzungs- mechanismus.	255
10.2.5	Subaxial Cervical Spine Injury Classification (SLIC).	257
10.3	Konservative Behandlung	257
10.3.1	Dornfortsatz- und Querfortsatzfrakturen .	257
10.3.2	Teardrop-Fraktur.	258
10.3.3	Massa-lateralis-Fraktur	258
10.3.4	Nervenzwurzelverletzung	258
10.3.5	Facettengelenkdislokation	259
10.3.6	Facettengelenkfraktur.	260
10.3.7	Axiale Verletzungen	260
10.4	Indikationen zur operativen Therapie .	261
10.4.1	Neurologisches Defizit	261
10.4.2	Stabilität	261
10.4.3	Facettengelenkdislokation	261
10.4.4	Berstungs- und Teardrop-Fraktur.	262
10.4.5	Massa-lateralis-Fraktur	262
10.5	Erstversorgung von Subluxationen und Dislokationen der unteren Halswirbelsäule	262
10.6	Operative Behandlung	264
10.6.1	Behandlungsziel	264
10.6.2	Facettengelenkfrakturen und -dislokationen	264
10.6.3	Kompressions-, Berstungs- und Teardrop-Frakturen	271
10.6.4	Massa-lateralis-Frakturen	272
10.6.5	Ankylosierende Spondylitis	273
10.7	Ergebnisse	273
10.7.1	Faktoren für das Langzeitergebnis	273
10.8	Komplikationen	275
10.9	Literatur	276
11	Verletzungen der Brustwirbelsäule	279
	<i>T. J. Choma, C. A. Kuhns,</i> <i>Übersetzer: M. Schultheiss, P. Richter;</i> <i>Frühere Übersetzer: M. Schultheiss, D. Gulkin</i>	
11.1	Anatomie und Biomechanik	279
11.2	Verletzungsmuster und Klassifikation .	279
11.3	Verletzungen mit neurologischer Schädigung	281
11.4	Aktuelle Behandlungsoptionen	282
11.4.1	Konservative Behandlung	282
11.4.2	Operative Behandlung	283
11.4.3	Komplikationen	290
11.5	Literatur	291
12	Trauma der Lendenwirbelsäule und des thorakolumbalen Übergangs	294
	<i>S. M. Theiss,</i> <i>Übersetzer: P. Richter, M. Schultheiss;</i> <i>Frühere Übersetzer: M. Schultheiss, D. Gulkin</i>	
12.1	Einleitung	294
12.2	Klassifikation	294
12.2.1	Klassifikation nach Denis	294
12.2.2	Klassifikation nach Magerl et al.	296
12.2.3	Thoracolumbar Injury Severity Score (TLISS).	297
12.2.4	Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TlICS).	297
12.2.5	Neue kombinierte Klassifikation.	298

12.3	Konservative Behandlung	298	12.5	Operative Behandlung	303
12.3.1	Kompressionsfrakturen	298	12.5.1	Behandlungsziele	303
12.3.2	Berstungsfrakturen	299	12.5.2	Chirurgische Zugangswege	303
12.3.3	Flexions-Distraktions-Verletzung	300	12.5.3	Chirurgische Techniken	307
12.3.4	Dislozierte Frakturen	300			
12.4	Indikationen zur operativen Behandlung	300	12.6	Komplikationen	315
12.4.1	Kompressionsfrakturen	300	12.6.1	Tiefe Beinvenenthrombose	316
12.4.2	Berstungsfrakturen	301	12.6.2	Infektion	316
12.4.3	Flexions-Distraktions-Verletzung	301	12.6.3	Duraverletzung	317
12.4.4	Dislozierte Frakturen	302	12.6.4	Pseudarthrose	317
			12.6.5	Posttraumatische Deformität	317
			12.6.6	Neurologische Schädigung	317
			12.7	Referenzen	318
13	Verletzungen des Schultergürtels	322			
	<i>P. A. Cole, A. R. Jacobson,</i>				
	<i>Übersetzer: S. Ruchholtz</i>				
13.1	Luxation des Akromioklavikulargelenks	322	13.2.5	Operative Behandlung	331
13.1.1	Einleitung	322	13.2.6	Ergebnisse	350
13.1.2	Klassifikation	322	13.2.7	Komplikationen	353
13.1.3	Klinische Untersuchung	322	13.3	Klavikulafrakturen	353
13.1.4	Konservative Behandlung	323	13.3.1	Einleitung	353
13.1.5	Operative Behandlung	323	13.3.2	Klassifikation	353
13.1.6	Ergebnisse	327	13.3.3	Klinische Untersuchung	353
13.1.7	Komplikationen	327	13.3.4	Konservative Behandlung	354
13.2	Skapulafrakturen	328	13.3.5	Operative Behandlung	355
13.2.1	Einleitung	328	13.3.6	Ergebnisse	357
13.2.2	Klassifikation	328	13.3.7	Komplikationen	358
13.2.3	Klinische Untersuchung	328	13.4	Literatur	359
13.2.4	Konservative Behandlung	329			
14	Proximale Humerusfraktur und Schulterluxation	363			
	<i>M. J. Gardner, A. H. Schmidt,</i>				
	<i>Übersetzer: S. Ruchholtz</i>				
14.1	Einleitung	363	14.3	Schulterluxationen	387
14.2	Proximale Humerusfrakturen	363	14.3.1	Klassifikation	387
14.2.1	Klassifikation	363	14.3.2	Konservative Behandlung	387
14.2.2	Diagnostik	364	14.3.3	Operative Behandlung	389
14.2.3	Konservative Behandlung	367	14.3.4	Ergebnisse	390
14.2.4	Operative Behandlung	368	14.3.5	Komplikationen	390
14.2.5	Ergebnisse	384	14.4	Literatur	390
14.2.6	Komplikationen	384			
14.2.7	Neue Techniken	387			

15	Frakturen des Humerusschafts	393		
	<i>S. A. Sems,</i>			
	<i>Übersetzer: A. Krüger</i>			
15.1	Einleitung	393	15.4	Operative Behandlung
15.2	Klassifikation	393	15.4.1	Indikation
15.3	Konservative Behandlung	393	15.4.2	Operationstechnik
15.3.1	Indikation	393	15.5	Ergebnisse und Komplikationen
15.3.2	Oberarmschiene	395	15.5.1	Frakturheilung in Fehlstellung
15.3.3	Funktioneller (Sarmiento-)Brace	395	15.5.2	Pseudarthrose
15.3.4	Hängegips (Hanging Cast)	396	15.5.3	Gefäß-Nerven-Verletzungen
15.3.5	Andere konservative Therapieoptionen ..	396	15.5.4	Verfahrensspezifische Komplikationen ..
			15.6	Literatur
16	Frakturen des distalen Humerus	422		
	<i>L. K. Cannada,</i>			
	<i>Übersetzer: A. Krüger</i>			
16.1	Einleitung	422	16.5.6	Reposition und Osteosynthese
16.2	Klassifikation	423	16.5.7	Nachbehandlung
16.2.1	Koronare Abscherfrakturen	424	16.5.8	Fixierung von koronaren Abscherfrakturen
16.3	Diagnostik	425	16.6	Ergebnisse
16.3.1	Klinische Untersuchung	425	16.7	Komplikationen
16.3.2	Bildgebung	425	16.7.1	Osteosyntheseversagen
16.4	Konservative Behandlung	427	16.7.2	Pseudarthrose
16.5	Operative Behandlung	427	16.7.3	Infektion
16.5.1	Ziele und Prinzipien	427	16.7.4	Neuropathie des N. ulnaris
16.5.2	Präoperative Planung	428	16.7.5	Eingeschränkter Bewegungsumfang des Ellenbogengelenks
16.5.3	Lagerung des Patienten	429	16.7.6	Heterotope Ossifikationen
16.5.4	Chirurgischer Zugang	429	16.7.7	Beschwerden nach Olekranonosteotomie ..
16.5.5	Management des Nervus ulnaris	436	16.8	Literatur
17	Verletzungen des Ellenbogens	446		
	<i>G. Gradl, N. G. Harness, D. Ring,</i>			
	<i>Übersetzer: B. Bücking</i>			
17.1	Einleitung	446	17.3.3	Operative Behandlung
17.2	Anatomie	446	17.3.4	Ergebnisse
17.3	Radiusköpfchenfraktur	447	17.3.5	Komplikationen
17.3.1	Klassifikation	447	17.4	Einfache Ellenbogenluxation
17.3.2	Konservative Behandlung	448	17.4.1	Klassifikation
			17.4.2	Konservative Behandlung

17.4.3	Operative Behandlung	455	17.6.3	Operative Behandlung	471
17.4.4	Ergebnisse	458	17.6.4	Ergebnisse	475
17.4.5	Komplikationen	458			
17.5	Ellenbogenluxationsfraktur	458	17.7	Olekranonluxationsfraktur	476
17.5.1	Ellenbogenluxation mit Radiusköpfchenfraktur	458	17.7.1	Klassifikation	476
17.5.2	Koronoidluxationsfraktur	464	17.7.2	Operative Behandlung	476
17.5.3	Terrible-Triad-Luxationsfraktur	465	17.7.3	Ergebnisse	477
17.5.4	Verletzungen mit posteromedialer Varusrotationsinstabilität	468	17.7.4	Komplikationen	477
17.6	Olekranonfraktur	469	17.8	Rehabilitation	478
17.6.1	Klassifikation	469	17.9	Komplikationen	478
17.6.2	Konservative Behandlung	471	17.10	Literatur	479
18	Unterarmfrakturen	482			
	<i>J. B. Macknin, H. A. Hoyer,</i>				
	<i>Übersetzer: B. Bücking</i>				
18.1	Einleitung	482	18.4.5	Anatomie	488
18.2	Klassifikation	482	18.4.6	Chirurgische Zugänge	488
18.3	Konservative Behandlung	484	18.4.7	Operationstechnik	493
18.3.1	Indikation	484	18.4.8	Rehabilitation	505
18.3.2	Repositions- und Retentionstechnik	484	18.5	Ergebnisse	505
18.3.3	Funktionelles Bracing isolierter Ulnafrakturen	484	18.6	Komplikationen	505
18.4	Operative Behandlung	485	18.6.1	Pseudarthrose	505
18.4.1	Indikation	485	18.6.2	Radioulnare Synostose	505
18.4.2	Präoperative Planung	485	18.6.3	Kompartmentsyndrom	506
18.4.3	Lagerung und Abdeckung	487	18.6.4	Refrakturen	506
18.4.4	Bildgebung	487	18.7	Literatur	506
19	Frakturen des distalen Radius	509			
	<i>J. T. Capo, B. Shamian, F. A. Liporace, R. S. Yoon,</i>				
	<i>Übersetzer: A. Wentzensen</i>				
19.1	Einleitung	509	19.6	Operative Behandlung	514
19.2	Anatomie	509	19.6.1	Indikation	514
19.3	Bildgebung	510	19.6.2	Präoperative Planung	515
19.4	Klassifikation	513	19.6.3	Chirurgische Zugänge für die interne Fixation	516
19.5	Konservative Behandlung	514	19.6.4	Fixateur externe am Handgelenk	525
			19.6.5	Arthroskopisch assistierte interne Fixation	528
			19.7	Begleitende Weichteilverletzungen ...	530

19.8	Begleitende distale Ulnafrakturen.....	530	19.10	Komplikationen.....	531
19.9	Ergebnisse.....	531	19.11	Literatur.....	533
20	Frakturen und Luxationen der Handwurzel	536			
	<i>J. T. Watson,</i>				
	<i>Übersetzer: S. Bauknecht, F. Gebhard;</i>				
	<i>Frühere Übersetzer: A. Röhm, F. Gebhard</i>				
20.1	Karpale Instabilität.....	536	20.2.5	Ergebnisse	563
20.1.1	Anatomie	536	20.2.6	Komplikationen.....	564
20.1.2	Diagnostik und Klassifikation	538	20.3	Weitere Frakturen der Handwurzel ...	564
20.1.3	Konservative Behandlung	542	20.3.1	Fraktur des Os triquetrum	565
20.1.4	Operative Behandlung	544	20.3.2	Fraktur des Os trapezium.....	565
20.1.5	Ergebnisse	555	20.3.3	Fraktur des Os hamatum	565
20.1.6	Komplikationen.....	556	20.3.4	Fraktur des Os lunatum	566
20.2	Kahnbeinfrakturen.....	557	20.3.5	Fraktur des Os capitatum.....	566
20.2.1	Anatomie	557	20.3.6	Fraktur des Os trapezoideum	566
20.2.2	Diagnostik und Klassifikation	558	20.4	Literatur.....	566
20.2.3	Konservative Behandlung	559			
20.2.4	Operative Behandlung	559			
21	Hand- und Fingerverletzungen	568			
	<i>L. M. Brunton, T. J. Graham, J. P. Higgins,</i>				
	<i>Übersetzer: S. Bauknecht, F. Gebhard;</i>				
	<i>Früherer Übersetzer: M. W. Knöferl</i>				
21.1	Einleitung	568	21.5	Metakarpophalangealgelenk	588
21.2	Endphalanx.....	568	21.5.1	Konservative Behandlung	588
21.2.1	Konservative Behandlung	569	21.5.2	Operative Behandlung	589
21.2.2	Operative Behandlung	570	21.6	Metakarpalia	589
21.3	Grund- und Mittelphalanx (extraartikulär)	573	21.6.1	Basisfrakturen und Luxationsfrakturen des Karpometakarpalgelenks	589
21.3.1	Konservative Behandlung	573	21.6.2	Subkapitale Metakarpalefrakturen.....	593
21.3.2	Operative Behandlung	574	21.6.3	Diaphysäre Metakarpalefrakturen	596
21.4	Proximales Interphalangealgelenk	579	21.7	Literatur.....	601
21.4.1	Dorsale Luxationen.....	580			
21.4.2	Laterale und palmare Dislokationen	587			
21.4.3	Kondylenfrakturen	587			

22	Beckenringverletzungen	602		
	<i>K. F. Dickson,</i>			
	<i>Übersetzer: B. König, U. Stöckle;</i>			
	<i>Frühere Übersetzer: B. König, P. Ahrens, U. Stöckle</i>			
22.1	Einleitung	602	22.6.3	Verletzungen des vorderen Beckenrings . . . 613
22.2	Anatomie	602	22.6.4	Verletzungen des hinteren Beckenrings. . . 619
22.3	Diagnostik	603	22.6.5	Rehabilitation. 633
22.4	Klassifikation	605	22.6.6	Neue Techniken. 633
22.5	Konservative Behandlung	609	22.7	Ergebnisse
22.6	Operative Behandlung	609	22.8	Komplikationen
			22.9	Literatur
22.6.1	Indikation.	609		
22.6.2	Präoperative Planung	610		
23	Azetabulumfrakturen	637		
	<i>P. J. Kregor, M. D. Stover,</i>			
	<i>Übersetzer: B. König, U. Stöckle;</i>			
	<i>Frühere Übersetzer: G. Sandmann, B. König, U. Stöckle</i>			
23.1	Einleitung	637	23.6.3	Ergebnisse nach operativer Reposition und Osteosynthese von Frakturen der hinteren Wand. 689
23.2	Diagnostik	637	23.6.4	Ergebnisse nach verzögerter Versorgung oder Revisionsversorgung von Azetabulumfrakturen 689
23.3	Klassifikation	639	23.6.5	Funktionelles Ergebnis
23.4	Konservative Behandlung	643	23.7	Komplikationen
23.5	Operative Behandlung	644	23.7.1	Tiefe Venenthrombose
23.5.1	Indikation.	644	23.7.2	Infektionen.
23.5.2	Präoperative Planung	645	23.7.3	Neurologische Verletzungen
23.5.3	Vorbereitung des Patienten	646	23.7.4	Gefäßverletzungen
23.5.4	Chirurgische Zugänge.	646	23.7.5	Posttraumatische Arthrose
23.5.5	Operationstechnik.	655	23.7.6	Avaskuläre Nekrose.
23.5.6	Rehabilitation.	676	23.7.7	Heterotope Ossifikationen
23.5.7	Neue Techniken.	682	23.8	Literatur
23.6	Ergebnisse	683		
23.6.1	Qualität der Reposition.	683		
23.6.2	Radiologische und klinische Ergebnisse nach operativ versorgten Azetabulum- frakturen.	687		

24	Traumatische Hüftluxation und Femurkopffraktur	697		
	<i>M. R. Adams, M. C. Reilly,</i>			
	<i>Übersetzer: M. Lucke, U. Stöckle;</i>			
	<i>Frühere Übersetzer: A. Buchholz, M. Lucke, U. Stöckle</i>			
24.1	Einleitung	697	24.4	Operative Behandlung
24.2	Diagnostik und Klassifikation	698	24.4.1	Chirurgische Zugänge
24.3	Konservative Behandlung	699	24.4.2	Pipkin-I- und -II-Frakturen
24.3.1	Geschlossene Reposition der hinteren Hüftluxation.	699	24.4.3	Pipkin-III-Frakturen
24.3.2	Geschlossene Reposition der vorderen und inferioren Hüftluxation	701	24.4.4	Pipkin-IV-Frakturen
			24.5	Ergebnisse
			24.6	Komplikationen
			24.7	Literatur
25	Frakturen des Schenkelhalses	711		
	<i>G. J. Della Rocca,</i>			
	<i>Übersetzer: M. Lucke, U. Stöckle</i>			
25.1	Einleitung	711	25.4.6	Chirurgisch relevante Anatomie
25.2	Klassifikation	711	25.4.7	Chirurgische Zugänge
25.3	Konservative Behandlung	712	25.4.8	Operationstechnik
25.4	Operative Behandlung	714	25.4.9	Alloplastischer Gelenkersatz
25.4.1	Indikation	714	25.5	Komplikationen
25.4.2	Implantatwahl	714	25.5.1	Medizinische Komplikationen
25.4.3	Behandlungsgrundlagen bei geriatrischen Patienten	716	25.5.2	Heilungsstörungen
25.4.4	Hemiprothetischer Gelenkersatz	717	25.5.3	Femurkopfnnekrosen
25.4.5	Totalendoprothetischer Gelenkersatz (TEP)	718	25.6	Literatur
26	Pertrochantäre Femurfrakturen	744		
	<i>T. A. Russell,</i>			
	<i>Übersetzer: K. F. Braun, M. Neumaier, U. Stöckle</i>			
26.1	Einleitung	744	26.6	Operative Behandlung
26.2	Anatomie	744	26.6.1	Indikation
26.3	Diagnostik	746	26.6.2	Implantatwahl
26.4	Klassifikation	747	26.6.3	Platten- und Schraubenfixierung
26.5	Konservative Behandlung	747	26.6.4	Zephalomedulläre Fixation
			26.7	Ergebnisse
			26.7.1	Mortalität
			26.7.2	Funktionelle Ergebnisse
			26.7.3	Frakturkollaps

26.8	Komplikationen	774	26.8.4	Pseudarthrose und mechanisches Implantatversagen	774
26.8.1	Medizinische Komplikationen	774	26.8.5	Infektion	776
26.8.2	Psychosoziale Komplikationen	774			
26.8.3	Thromboembolische Komplikationen	774	26.9	Literatur	777
27	Subtrochantäre Femurfrakturen	781			
	<i>S. H. Sims, W. D. Lack, A. D. Levine,</i>				
	<i>Übersetzer: M. Neumaier, U. Stöckle;</i>				
	<i>Frühere Übersetzer: C. Horn, M. Neumaier, U. Stöckle</i>				
27.1	Einleitung	781	27.5	Operative Behandlung	783
27.2	Anatomie	781	27.5.1	Indikation	783
27.3	Klassifikation	782	27.5.2	Nagelosteosynthese	786
27.3.1	Russell-Taylor-Klassifikation	782	27.5.3	Plattenosteosynthese	790
27.3.2	AO/OTA-Klassifikation	783	27.5.4	Operationstechnik	791
27.3.3	Atypische subtrochantäre Femurfrakturen	783	27.5.5	Rehabilitation	803
27.4	Konservative Behandlung	783	27.6	Ergebnisse	804
			27.7	Komplikationen	805
			27.8	Literatur	805
28	Femurschaftfrakturen	808			
	<i>B. L. Norris, N. M. Dobrasevic,</i>				
	<i>Übersetzer: V. Hofmann, T. Freude, U. Stöckle;</i>				
	<i>Frühere Übersetzer: C. Michalski, T. Freude, U. Stöckle</i>				
28.1	Einleitung	808	28.6	Komplikationen	833
28.2	Klassifikation	808	28.6.1	Infektionen	833
28.3	Konservative Behandlung	809	28.6.2	Übersehene Begleitverletzungen	833
28.4	Operative Behandlung	810	28.6.3	Refrakturen	834
28.4.1	Indikation	810	28.6.4	Verzögerte Knochenheilung/ Pseudarthrosenbildung	834
28.4.2	Versorgungsoptionen	811	28.6.5	Fehlstellungen	834
28.4.3	Chirurgische Anatomie	811	28.6.6	Implantatirritation	835
28.4.4	Operationstechnik	814	28.6.7	Kompartmentsyndrom	835
28.4.5	Spezielle Fälle	830	28.6.8	Nervenschäden	835
28.4.6	Neue Techniken	832	28.6.9	Heterotope Ossifikationen	835
28.5	Ergebnisse	832	28.7	Atypische Femurfrakturen	836
			28.8	Literatur	837

29	Distale Femurfrakturen	839		
	<i>P. J. Kregor, M. P. Zlowodzki,</i>			
	<i>Übersetzer: T. Freude, U. Stöckle;</i>			
	<i>Frühere Übersetzer: F. Maretschläger, T. Freude, U. Stöckle</i>			
29.1	Einleitung	839	29.5	Rehabilitation
29.2	Klassifikation	841	29.5.1	Typ-A-Frakturen
29.3	Konservative Behandlung	841	29.5.2	Typ-B- und Typ-C-Frakturen
29.4	Operative Behandlung	842	29.6	Neue Techniken
29.4.1	Indikation	842	29.7	Ergebnisse
29.4.2	Chirurgische Anatomie	843	29.8	Komplikationen
29.4.3	Chirurgische Zugänge	843	29.9	Literatur
29.4.4	Operationstechnik	849		
30	Verletzungen des Kniegelenkstreckapparats	875		
	<i>S. Mehta,</i>			
	<i>Übersetzer: C. Wagner</i>			
30.1	Einleitung	875	30.3	Rupturen der Quadrizepssehne oder der Patellarsehne
30.2	Patellafrakturen	875		
30.2.1	Anatomie	875	30.3.1	Pathophysiologie
30.2.2	Pathophysiologie	875	30.3.2	Diagnostik
30.2.3	Diagnostik	876	30.3.3	Konservative Behandlung
30.2.4	Klassifikation	876	30.3.4	Operative Behandlung
30.2.5	Konservative Behandlung	877	30.3.5	Ergebnisse
30.2.6	Operative Behandlung	878	30.3.6	Komplikationen
30.2.7	Ergebnisse	889	30.4	Literatur
30.2.8	Komplikationen	890		
31	Kniegelenkluxation und Bänderverletzungen	901		
	<i>J. P. Stannard, G. C. Fanelli,</i>			
	<i>Übersetzer: C. Frank</i>			
31.1	Einleitung	901	31.4.4	Operationstechnik
31.2	Klassifikation	901	31.4.5	Rehabilitation
31.3	Konservative Behandlung	902	31.4.6	Neue Techniken
31.3.1	Indikation	902	31.5	Ergebnisse
31.3.2	Techniken	902	31.5.1	Bewegungsumfang
31.3.3	Rehabilitation	903	31.5.2	Instabilität
31.4	Operative Behandlung	903	31.5.3	Schmerz
31.4.1	Indikation und Behandlungsalgorithmus	903	31.5.4	Wiederaufnahme von Aktivität/Beruf
31.4.2	Chirurgische Anatomie	905	31.6	Komplikationen
31.4.3	Chirurgische Zugänge	906	31.6.1	Gefäßverletzungen
			31.6.2	Nervenverletzungen

31.6.3	Infektionen und Wundheilungsstörungen	922	31.6.6	Arthrose	923
31.6.4	Heterotope Ossifikationen	922	31.6.7	Falsche oder verzögerte Diagnosestellung	923
31.6.5	Osteonekrose des medialen Femurkondylus	923	31.7	Literatur	923
32	Tibiakopffrakturen	926			
	<i>B. D. Crist, S. L. Martin, J. P. Stannard,</i>				
	<i>Übersetzer: C. Frank</i>				
32.1	Einleitung	926	32.5	Operative Behandlung	932
32.2	Klassifikation	926	32.5.1	Indikation	932
32.2.1	Schatzker-Klassifikation	926	32.5.2	Anlage eines temporären Kniegelenk- überbrückenden Fixateur externe	934
32.2.2	Modifikation der Schatzker-Klassifikation	928	32.5.3	Chirurgische Anatomie	934
32.2.3	AO/OTA-Klassifizierung der Tibiakopf- frakturen	928	32.5.4	Chirurgische Zugänge	934
32.2.4	Drei-Säulen-Theorie	928	32.5.5	Operationstechnik	937
32.2.5	Modifizierte Einteilung der Luxationsfrak- turen nach Schenck	928	32.5.6	Technische Hilfsmittel	949
32.3	Diagnostik	930	32.5.7	Rehabilitation	950
32.3.1	Knieluxationsfrakturen	932	32.6	Ergebnisse	952
32.4	Konservative Behandlung	932	32.7	Komplikationen	953
			32.8	Literatur	954
33	Tibiaschaftfrakturen	957			
	<i>D. P. Barei,</i>				
	<i>Übersetzer: D. Matte, P. A. Grützner</i>				
33.1	Einleitung	957	33.5	Ergebnisse	983
33.2	Klassifikation	957	33.5.1	Die verstümmelte Extremität	984
33.3	Konservative Behandlung	958	33.6	Komplikationen	986
33.4	Operative Behandlung	962	33.6.1	Knieschmerz	986
33.4.1	Indikation	962	33.6.2	Pseudarthrose	986
33.4.2	Chirurgische und radiologische Anatomie	965	33.6.3	Infektion	988
33.4.3	Operationstechnik	966	33.7	Literatur	990
34	Distale Tibiafrakturen	994			
	<i>S. E. Nork,</i>				
	<i>Übersetzer: D. Matte, P. A. Grützner</i>				
34.1	Einleitung	994	34.4	Operative Behandlung	997
34.2	Klassifikation	994	34.4.1	Indikation	997
34.3	Konservative Behandlung	997	34.4.2	Generelle Strategie zur offenen Reposition und inneren Fixierung	997
			34.4.3	Chirurgische Anatomie	998

34.4.4	Chirurgische Zugänge und Operations- technik	999	34.5	Ergebnisse	1020
34.4.5	Rehabilitation und postoperatives Management	1017	34.6	Komplikationen	1021
34.4.6	Neuere Behandlungsmethoden	1017	34.7	Literatur	1022
35	Sprunggelenkfrakturen und -luxationen	1024			
	<i>C. Collinge, D. Dombroski, K. Heier,</i> <i>Übersetzer: J. von Recum</i>				
35.1	Einleitung	1024	35.5.15	Sprunggelenkfrakturen bei Diabetes mellitus	1046
35.2	Diagnostik	1024	35.5.16	Sprunggelenkluxationen	1047
35.3	Klassifikation	1026	35.5.17	Postoperatives Management	1047
35.4	Konservative Behandlung	1027	35.6	Ergebnisse	1048
35.5	Operative Behandlung	1028	35.7	Komplikationen	1048
35.5.1	Indikation	1028	35.7.1	Wundheilungsstörung und Infektion	1048
35.5.2	Funktionelle und chirurgische Anatomie	1028	35.7.2	Pseudarthrosen	1048
35.5.3	Zeitpunkt der Operation	1029	35.7.3	Fehlverheilung	1049
35.5.4	Untersuchung	1030	35.7.4	Arthrose	1049
35.5.5	Implantatwahl	1030	35.7.5	Bewegungseinschränkung	1049
35.5.6	Präoperative Behandlung und Planung	1030	35.7.6	Symptomatisches Osteosynthesematerial	1049
35.5.7	OP-Setup	1030	35.7.7	Neurapraxie und Neurome	1050
35.5.8	Isolierte Außenknöchelfrakturen	1031	35.7.8	Osteochondrale Frakturen	1050
35.5.9	Innenknöchelfrakturen	1034	35.8	Ergebnisse	1051
35.5.10	Bimalleolarfrakturen	1036	35.8.1	Sprunggelenkluxationen	1051
35.5.11	Fraktur des Volkmann-Dreiecks	1039	35.9	Literatur	1051
35.5.12	Syndesmosenverletzungen	1040			
35.5.13	Offene Frakturen	1045			
35.5.14	Sprunggelenkfrakturen bei Osteoporose	1045			
36	Frakturen des Fußes	1054			
	<i>J. S. Broderick, T. G. Weber,</i> <i>Übersetzer: J. v. Recum</i>				
36.1	Einleitung	1054	36.3.5	Operative Behandlung	1072
36.2	Talusfrakturen	1054	36.3.6	Offene Fersenbeinfrakturen	1076
36.2.1	Anatomie und Biomechanik	1054	36.3.7	Ergebnisse	1078
36.2.2	Talushalsfrakturen	1054	36.3.8	Komplikationen	1080
36.2.3	Taluskorpusfrakturen	1062	36.4	Navikularefrakturen	1080
36.2.4	Taluskopffrakturen	1064	36.4.1	Klassifikation	1080
36.2.5	Frakturen des Processus posterior	1065	36.4.2	Konservative Behandlung	1080
36.3	Kalkaneusfrakturen	1066	36.4.3	Operative Behandlung	1081
36.3.1	Primäre Untersuchung	1067	36.4.4	Ergebnisse und Komplikationen	1083
36.3.2	Weichteilmanagement	1067	36.5	Kuboidfrakturen	1083
36.3.3	Klassifikation	1068	36.5.1	Klassifikation	1083
36.3.4	Konservative Behandlung	1070	36.5.2	Konservative Behandlung	1083

36.5.3	Operative Behandlung	1083	36.8	Verletzungen der	
36.5.4	Komplikationen.....	1084		Metatarsophalangealgelenke	1093
36.5.5	Ergebnisse	1084	36.8.1	MTP-1-Gelenk	1093
36.6	Verletzungen der Lisfranc-		36.8.2	MTP-2- bis -5-Gelenke	1093
	Gelenkreihe	1085	36.9	Zehenfrakturen	1093
36.6.1	Klassifikation	1086	36.9.1	Großzehe	1093
36.6.2	Konservative Behandlung	1086	36.9.2	Kleinzehen	1094
36.6.3	Operative Behandlung	1086	36.10	Literatur	1094
36.6.4	Ergebnisse	1090			
36.6.5	Komplikationen.....	1090			
36.7	Frakturen der Mittelfußknochen	1090			
36.7.1	Os metatarsale I.....	1090			
36.7.2	Ossa metatarsalia II–IV	1091			
36.7.3	Os metatarsale V	1092			
Sachverzeichnis					1097

Anschriften

Herausgeber der Originalausgabe

Professor James P. **Stannard, M.D.**
University of Alabama School of Medicine
Department of Orthopaedic Surgery
Division of Orthopaedic Trauma
Birmingham, Alabama
USA

Associate Professor Andrew H. **Schmidt, M.D.**
Hennepin County Medical Center
University of Minnesota Medical School
Division of Orthopaedics
Minneapolis, Minnesota
USA

Herausgeber der deutschen Ausgabe

Prof. Dr. med. Andreas **Wentzensen**
Ziethenstr. 121
68259 Mannheim

Prof. Dr. med. Florian **Gebhard**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Prof. Dr. med. Paul A. **Grützner**
BG - Klinik Ludwigshafen
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie
Ludwig-Guttman-Str. 13
67071 Ludwigshafen am Rhein

Prof. Dr. med. Steffen **Ruchholtz**
Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Standort Marburg
Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Baldingerstr. 1
35043 Marburg

Prof. Dr. med. Ulrich **Stöckle**
Charité-Universitätsmedizin Berlin
Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
Augustenburger Platz 1
13353 Berlin

Autoren der Originalausgabe

Assistant Professor, MD Mark R. **Adams**
Orthopaedic Trauma Service
Department of Orthopaedics
Rutgers-New Jersey Medical School
Newark, New Jersey
USA

Prof., MD David P. **Bareil**
Programm Director, Traumatology Fellowship
Department of Orthopaedics and Sports Medicine
University of Washington
Seattle, Washington
USA

Prof., MD Carlo **Bellabarba**
Department of Orthopaedics and Sports Medicine
Joint Professor, Department of Neurological Surgery
University of Washington School of Medicine
Acting Chief of Orthopaedics
Harborview Medical Center
Seattle, Washington
USA

Associate Professor, MD Richard J. **Bransford**
Director, University of Washington Spine Education
Department of Orthopaedics and Sports Medicine
Department of Neurological Surgery
Harborview Medical Center
University of Washington School of Medicine
Seattle, Washington
USA

MD J. Scott **Broderick**
Director of Orthopaedic Trauma
Medical Director, Perioperative Services
Spartanburg Regional Medical Center
Spartanburg, South Carolina
USA

Clinical Assistant Professor, MD Lance M. **Brunton**
Orthopaedic Surgery
University of Pittsburgh Medical Center
Excels Health Orthopedics and Sports Medicine
Latrobe, Pennsylvania
USA

Associate Professor, MD Lisa K. **Cannada**
Department of Orthopaedic Surgery
St. Louis University
St. Louis, Missouri
USA

Professor, MD John T. **Capo**
Hand Surgery, Orthopaedic Surgery
New York University Medical School
Hospital for Joint Diseases
New York, New York
USA

Vice-Chairman, MD Theodore J. **Choma**
Department of Orthopaedic Surgery
Chief, Spine Division
Associate Professor of Orthopaedic Surgery
University of Missouri Health System
Director, Missouri Spine Center
Columbia, Missouri
USA

Professor, MD Peter A. **Cole**
Orthopaedic Surgery
University of Minnesota
Regions Hospital
St. Paul, Minnesota
USA

MD Cory **Collinge**
Harris Methodist Hospital–Fort Worth
Orthopaedic Speciality Associates
Fort Worth, Texas
USA

Associate Professor, MD, FACS Brett D. **Crist**
Co-Chief, Orthopaedic Trauma Division
Associate Director, Joint Preservation Surgery
Co-Director, Trauma Orthopaedic Fellowship
University of Missouri School of Medicine
Columbia, Missouri
USA

Associate Professor, MD, PhD, FACS Gregory J. **Della Rocca**
Orthopaedic Surgery
Co-Director, Orthopaedic Trauma Services
University of Missouri
Columbia, Missouri
USA

Professor, MD, MBA Kyle F. **Dickson**
Department of Orthopaedics
Baylor College of Medicine
Southwest Orthopaedic Group
Houston, Texas
USA

Fellow, MD Nikola Marko **Dobrasevic**
Orthopaedic Trauma
University of Oklahoma
Orthopaedic Trauma Service of Oklahoma
Tulsa, Oklahoma
USA

MD Derek **Dombroski**
Orthopaedic Trauma Surgeon
Harris Methodist Hospital–Fort Worth
Orthopaedic Specialty Associates
Fort Worth, Texas
USA

MD, FAAOS Gregory Carl **Fanelli**
Orthopaedic Surgeon
Geisinger Medical Center
Danville, Pennsylvania
USA

Professor and Vice Chairman, MD Johan Charles **France**
Chief, Spine Service
Robert C. Byrd Health Sciences Center School of Medicine
West Virginia University
Morgantown, West Virginia
USA

Associate Professor, MD Michael J. **Gardner**
Department of Orthopaedic Surgery
Washington University School of Medicine
St. Louis, Missouri
USA

MD Gertraud **Gradl**
Department of Orthopaedic Trauma
University of Aachen Medical Center
Aachen, Germany

Chairman, MD Thomas J. **Graham**
Cleveland Clinic Innovations
Vice Chair
Orthopaedic Surgery Cleveland Clinic
Cleveland, Ohio
USA

Associate Professor and Residency Program Director,
MD Matt L. **Graves**
Hansjörg Wyss AO Medical Foundation Chair of
Orthopaedic Trauma
Division of Trauma, Department of Orthopedic Surgery
University of Mississippi Medical Center
Jackson, Mississippi
USA

MD Neil G. **Harness**
Hand Surgery
Kaiser Permanente Orange County
Department of Orthopaedic Surgery
Associate Clinical Professor of Orthopaedic Surgery
University of California Irvine School of Medicine
Anaheim, California
USA

MD Keith **Heier**
Foot and Ankle Surgeon
OrthoTexas
Carrollton, Texas
USA

MD James P. **Higgins**
Plastic and Hand Surgery
Greater Chesapeake Hand Specialists
Chief, Curtis National Hand Center
Union Memorial Hospital of Baltimore
Lutherville, Maryland
USA

Associate Professor, MD Harry A. **Hoyen**
Case Western Reserve University School of Medicine
Metrohealth Medical Center
Orthopaedics Department
Middleburg Heights, Ohio
USA

Postdoctoral Research Fellowship, DC Aaron R. **Jacobson**
University of Minnesota
Regions Hospital
St. Paul, Minnesota
USA

Director, MD Stephen L. **Kates**
Geriatric Fracture Center
Professor Orthopaedics and Rehabilitation
Chief Oncology, Metabolic Bone and Geriatric Division
University of Rochester Medical Center
Evarts Joint Center at Highland Hospital
Rochester, New York
USA

MD Philip J. **Kregor**
Orthopaedic Surgeon
Hip and Fracture Institute Nashville
Nashville, Tennessee
USA

MD Craig A. **Kuhns**
Founder
Austin Spine
Lakeway, Texas
USA

Instructor, MD William D. **Lack**
Department of Orthopaedic Surgery and Rehabilitation
Loyola University Medical Center
Maywood, Illinois
USA

Assistant Professor, MD Ari D. **Levine**
Orthopaedic Surgeon
Case Western Reserve University
University Hospitals Case Medical Center
Cleveland, Ohio
USA

Associate Professor, MD Frank A. **Liporace**
Department of Orthopaedic Surgery
New York University Langone Medical Center
New York, New York
USA

MD Jonathan B. **Macknin**
Resident, Department of Orthopaedics
University Hospitals Case Medical Center
Cleveland, Ohio
USA

Assistant Clinical Professor, MD Meir **Marmor**
University of California–San Francisco
San Francisco, California
USA

Adjunct Professor, MD Steven L. **Martin**
Department of Bioengineering
Clemson University
Orthopedic Surgery
Blue Ridge Surgery Center
Seneca, South Carolina
USA

Associate Clinical Professor, MD Amir **Matityahu**
Trauma and Problem Fracture
Orthopaedic Trauma Institute
University of California–San Francisco
San Francisco General Hospital
San Francisco, California
USA

MD Samir **Mehta**
Chief, Division of Orthopaedic Trauma
Assistant Professor
Orthopaedic Surgery
Hospital of the University of Pennsylvania
Philadelphia, Pennsylvania
USA

Assistant Professor, MD Erika J. **Mitchell**
Division of Trauma
Loyola University–Chicago
Chicago, Illinois
USA

Associate Professor, MD Sean E. **Nork**
Trauma Section Chief
Orthopaedics and Sports Medicine
University of Washington
Seattle, Washington
USA

Clinical Assistant Professor, MD Brent L. **Norris**
University of Oklahoma
School of Community Medicine
Tulsa, Oklahoma
USA

MD Mark C. **Reilly**
Chief, Orthopaedic Trauma Service
Associate Professor
Department of Orthopaedics
Rutgers–New Jersey Medical School
Newark, New Jersey
USA

MD David **Ring**
Chief and Director of Research
Hand and Upper Extremity Service
Massachusetts General Hospital
Associate Professor
Department of Orthopaedic Surgery
Harvard Medical School
Boston, Massachusetts
USA

Professor, MD Thomas A. **Russell**
Department of Orthopaedic Surgery
Campbell Clinic/University of Tennessee
Department of Orthopaedics
University of Tennessee Center for the Health Sciences
Eads, Tennessee
USA

Associate Professor, MD, MSc, FRCSC David W. **Sanders**
Department of Orthopedic Surgery
University of Western Ontario
Head, Orthopedic Trauma
Victoria Hospital, London Health Science Centre
London, Ontario, Canada
USA

Professor, MD Andrew H. **Schmidt**
Department of Orthopaedics
University of Minnesota
Chief, Department of Orthopaedic Surgery
Hennepin County Medical Center
Minneapolis, Minnesota
USA

Chair, MD Stephen Andrews **Sems**
Division of Orthopaedic Trauma Surgery
Mayo Clinic
Rochester, Minnesota
USA

MD Ben **Shamian**
Department of Medicine
New York University Woodhull Medical Center
Brooklyn, New York
USA

MD Stephen H. **Sims**
Department of Orthopaedic Surgery
Carolinas Medical Center
Charlotte, North Carolina
USA

Research Fellow, MD Richard **Southgate**
Orthopaedics and Rehabilitation
University of Rochester Medical Center
Rochester, New York
USA

MD James P. **Stannard**
Interim Dean
School of Medicine
J. Vernon Luck Sr. Distinguished Professor and Chairman
Department of Orthopaedic Surgery
University of Missouri School of Medicine
Columbia, Missouri
USA

MD, DO Jared Joseph **Stefanko**
Orthopaedic Surgeon
Spectrum Orthopaedics
North Canton, Ohio
USA

MD, FRCSC David **Stephen**
Affiliate Scientist
Sunnybrook Health Sciences Center
Toronto, Ontario, Canada
USA

Professor, MD Michael D. **Stover**
Orthopaedic Surgery
Northwestern University Feinberg School of Medicine
Chicago, Illinois
USA

Associate Professor, MD Steven M. **Theiss**
Department of Orthopaedic Surgery
University of Alabama School of Medicine
Tuscaloosa, Alabama
USA

Associate Professor, MD David A. **Volgas**
Department of Orthopaedic Surgery
University of Missouri Health System
School of Medicine
Columbia, Missouri
USA

Professor, MD J. Tracy **Watson**
Head and Upper Extremity
Colorado Springs Orthopaedic Group
Colorado Springs, Colorado
USA

MD Timothy G. **Weber**
OrthoIndy Northwest
Indianapolis, Indiana
USA

Executive Chief Resident, MD Richard S. **Yoon**
Orthopaedic Surgery
New York University Hospital for Joint Diseases
New York University Langone Medical Center
New York, New York
USA

Assistant Professor, MD Michael P. **Zlowodzki**
Orthopaedic Surgery
Department of Orthopaedic Surgery
Indiana University
Indianapolis, Indiana
USA

Übersetzer und Bearbeiter der deutschen Ausgabe

Priv.-Doz. Dr. med. René **Aigner**
Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Standort Marburg
Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Baldingerstr. 1
35043 Marburg

Dr. med. Simon **Bauknecht**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

PD Dr. med. Karl Friedrich **Braun**
TUM Klinikum rechts der Isar
Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie
Ismaninger Str. 22
81675 München

Prof. Dr. med. Benjamin **Bücking**
DRK-Kliniken Kassel
Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und
Alterstraumatologie
Hansteinstr. 29
34121 Kassel

Prof. Dr. med. Christoph **Dehner**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Dr. med. Christian **Frank**
Universitätsspital Basel
Orthopädie und Traumatologie
Spitalstr. 21
4031 Basel
Schweiz

Dr. med. Jan **Freiherr von Recum**
BG – Klinik Ludwigshafen
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie
Ludwig-Guttmann-Str. 13
67071 Ludwigshafen

Prim. Prof. Dr. med. Thomas **Freude**
Universitätsklinikum Salzburg
Orthopädie und Traumatologie
Müllner Hauptstr. 48
5020 Salzburg
Österreich

Dr. med. Valeska Isabel **Hofmann**
Universitätsklinikum Salzburg
Orthopädie und Traumatologie
Müllner Hauptstr. 48
5020 Salzburg
Österreich

Prof. Dr. med. Antonio **Krüger**
Asklepios Klinik Lich
Chirurgische Abteilung
Goethestr. 4
35423 Lich

Dr. med. Benjamin **König**
Krankenhaus Freudenstadt
Unfall- und Orthopädische Chirurgie
Karl-von-Hahn-Str. 120 D
72250 Freudenstadt

Prof. Dr. med. Christian A. **Kühne**
Asklepios Klinik St. Georg
Chirurgisch-Traumatologisches Zentrum
Abteilung für Unfallchirurgie, Wiederherstellungs-
chirurgie und Orthopädie
Sektion Knie- und Schulterarthroskopie und
Sporttraumatologie
Lohmühlenstr. 5
20099 Hamburg

PD Dr. med. Martin **Lucke**
Chirurgisches Klinikum München Süd
Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Am Isarkanal 30
81379 München

Dr. med. Daniel **Matte**
GRN-Klinik Sinsheim
Unfallchirurgie, Orthopädie
Alte Waibstadter Str. 2
74889 Sinsheim

PD Dr. med. Markus **Neumaier**
Klinikum Freising GmbH
Orthopädie und Unfallchirurgie
Alois-Steinecker-Str. 18
85354 Freising

PD Dr. med. Peter **Richter**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Prof. Dr. med. Götz **Röderer**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Dr. med. Clemens **Schopper**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Prof. Dr. med. Markus **Schultheiß**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Dr. med. Konrad **Schütze**
Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm

Prof. Dr. med. Christof **Wagner**
Klinikum Ingolstadt GmbH
Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Krumenauerstr. 25
85049 Ingolstadt

1 Der schwerverletzte Patient

E. J. Mitchell, P. J. Gregor,
Übersetzer: C. A. Kühne, R. Aigner

1.1 Einleitung

Der schwerverletzte Patient stellt für den Unfallchirurg eine spezielle Herausforderung dar. Eine adäquate Behandlung erfordert Teamwork und Koordination verschiedener medizinischer Berufsgruppen, welche den Zeitpunkt der operativen Versorgung und den operativen Zugangsweg beeinflussen können. Die systemische Immunreaktion auf das Trauma verursacht das Dilemma einer komplexen Interaktion zwischen Zusatzeffekten spezifischer Verletzungen und der Priorisierung ihrer Therapie.

Der Begriff „damage control“ bezeichnet dabei ein Therapiekonzept, das weniger invasive, temporäre Therapiealternativen bevorzugt, mit dem Ziel, die Effekte einzelner Verletzungen auf die systemische Immunantwort zu minimieren, bis der Patient ausreichend stabilisiert worden ist und somit der definitiven Versorgung zugeführt werden kann.

Die Aufgaben des Unfallchirurgen in der Versorgung eines schwerverletzten Patienten sind:

- den optimalen OP Zeitpunkt zu determinieren,
- eine weitere systemische Schädigung durch die Verletzungen und notwendige operative Eingriffe zu minimieren,
- das Risiko chirurgischer und traumassoziierter Komplikationen wie Infektion, Pseudarthrose und Lungenembolie zu minimieren.

Eine adäquate und prioritätengerechte initiale Versorgung von Frakturen bei schwerverletzten Patienten hat bedeutenden Einfluss auf die Prognose und das Ergebnis. Sie hilft die Rate an schweren Komplikationen wie ARDS, Multiorganversagen, Fettembolie und/oder thrombotischen Embolien zu reduzieren.

In diesem Kapitel sollen das stetig fortschreitende Verständnis der physiologischen Antworten des Organismus sowie die systemischen Effekte muskuloskelettaler Verletzungen beschrieben werden. Anhand dieser Informationen wird ein sinnvolles, prioritätenorientiertes Vorgehen hinsichtlich des Managements muskuloskelettaler Verletzungen am Beispiel des schwerverletzten Patienten dargelegt. Fallbeispiele sollen helfen, die beschriebenen komplexen Veränderungen, Vorgehensweisen und Versorgungsstrategien zu illustrieren.

1.2 Untersuchung des schwerverletzten Patienten

Behandlung und Versorgungsstrategie schwerverletzter Patienten erfordern in der Notfallsituation ein sorgfältiges, interdisziplinäres Vorgehen im Team. Obwohl die Versorgung in Deutschland in der Regel durch die traumatologische Abteilung koordiniert wird, sind oftmals verschiedene Disziplinen involviert, inklusive Viszeral- und Thoraxchirurgie, Gefäßchirurgie, Neurochirurgie und Anästhesie. Die Anforderungen an und Voraussetzungen für die Fachdisziplinen müssen koordiniert werden, um die höchstmögliche Effektivität der Versorgung des Patienten gewährleisten zu können [14].

Die Untersuchung des schwerverletzten Patienten erfolgt nach dem Advanced Trauma Life Support (ATLS, American College of Surgeons, Chicago, IL). Die genaue Beurteilung des Patienten beinhaltet das Verständnis seiner Krankengeschichte und des Unfallhergangs, der zur Verletzung führte. Informationen zum Unfallmechanismus lassen das Trauma-Team ihr Augenmerk auf bestimmte Verletzungstypen richten, die bei Erst- oder Zweituntersuchung nicht unbedingt offensichtlich sind. So führen z. B. verlängerte Rettungszeiten zu einer relevanten Hypothermie. Auch sollten diese Patienten trotz eines evtl. Ausschlusses von Frakturen genauestens auf relevante Weichteilverletzungen untersucht werden.

Patienten mit (geschlossenen) Weichteilverletzungen sollen ebenso wie solche mit Frakturen nach Rasanstrauma oder nach Substitution großer Flüssigkeitsmengen engmaschig hinsichtlich des Auftretens eines Kompartmentsyndroms (s. Kap. 4) evaluiert werden. Der prä- und innerklinische Volumenbedarf kann einen Hinweis geben auf eine eventuell notwendige Transfusion von Thrombozyten und/oder Frischplasma (FFP) vor oder während notfallmäßiger operativer Eingriffe. Darüber hinaus sind selbstverständlich alle Frakturen hinsichtlich des begleitenden Weichteilschadens (offen/geschlossen) zu untersuchen und ggf. auch mit Foto zu dokumentieren. Offene Wunden oder Frakturen sollten frühzeitig antibiotisch behandelt werden, ebenso wie bei diesen Patienten eine Tetanusprophylaxe erfolgen sollte.

Alle Frakturen, gleich, ob offen oder geschlossen, sind hinsichtlich ihres neurovaskulären Status zu untersuchen und ebenfalls zu dokumentieren. Hier kann bei unklaren Gefäßverletzungen eine CT-Angiografie oder DSA (digitale Subtraktionsangiografie) notwendig werden. Der Patient sollte bei längerer Ischämiezeit in der Folge engmaschig auf das Auftreten eines Kompartmentsyndroms hin untersucht werden. Gegebenenfalls ist bei operativer Versorgung von Gefäßverletzungen eine prophylaktische

Fasziotomie durchzuführen. In der Regel sollte die Stabilisierung knöcherner Verletzungen vor der Revaskularisierung durch den Gefäßchirurgen erfolgen. Dadurch wird dem Gefäßchirurgen die tatsächliche Länge der notwendigen Gefäßversorgung vorgegeben und es wird einer Gefährdung der Revaskularisierung während der knöchernen Stabilisierung vorgebeugt. Eine enge Zusammenarbeit und Kooperation mit den Gefäßchirurgen vor allem hinsichtlich der zeitlichen Abfolge und der operativen Zugangswege ist in diesen Fällen unabdingbar.

Instabile Beckenfrakturen sollten, sofern dies noch nicht präklinisch geschehen ist, komprimiert werden. Dies kann durch das Anlegen eines pneumatischen Beckengurts oder auch durch das Umschlingen mittels eines Lakens geschehen. Als Spezialfall nichtknöcherner Beckenverletzungen ist die sogenannte Morel-Lavallée-Verletzung zu nennen, wie sie z. B. bei Überrolltraumen an der Grenzfläche von Subkutis und Faszie bzw. Knochen auftreten kann. Hier kommt es zum Abscheren der Haut und Subkutis von der Faszie und Ausbildung blutgefüllter Hohlräume an prädestinierten Körperregionen, wie insbesondere dem Becken. In der Folge können sich große Nekroseflächen ausbilden, die das operative Vorgehen und/oder das Ergebnis für den Patienten beeinträchtigen können.

Bei allen Patienten mit Verletzungen des Beckens sollten eine digitale Untersuchung des Rektums sowie eine Inspektion des Meatus erfolgen. Beckenfrakturen mit hämodynamischer Instabilität des Patienten, die einen hohen Transfusionsbedarf erfordern, sind initial zu stabilisieren (s. o.), wobei dies im weiteren Verlauf mit dem Fixateur externe oder der Beckenzwinge erfolgen sollte. Ist eine hämodynamische Stabilität trotz dieser Maßnahmen nicht zu erreichen, kann – wenn dies der Zustand des Patienten zulässt – eine CT-Angiografie durchgeführt werden. Wird hier der Nachweis einer arteriellen Blutung erbracht, sollte ein interventioneller Verschluss der Blutungsquelle erfolgen. Ist aufgrund der hämodynamischen Instabilität keine dezidierte Diagnostik mittels CT-Angiografie mehr möglich oder kann ein interventioneller Verschluss nicht erfolgen, sollte versucht werden die Blutung retroperitoneal durch „Packing“ zu stillen. Hierbei ist ein gerader Schnitt, beginnend an der Symphyse bis zum Bauchnabel, dem Pfannenstielschnitt vorzuziehen, da ggf. der Schnitt zur Laparotomie erweitert werden muss.

Neben relevanten Beckenverletzungen, die zu einer hämodynamischen Instabilität des Patienten führen können, sind häufig Verletzungen des Abdomens oder des Thorax alleine oder in Kombination für das hämorrhagische Schockgeschehen verantwortlich. Des Weiteren gilt zu beachten, dass lange thorakale oder abdominelle Eingriffe zu Hypothermie und folgend Koagulopathie führen können. Hierdurch kann ein zeitliches Aufschieben traumatologischer Eingriffe im Sinne der Damage-Control-Strategie notwendig werden.

Praxis

Versorgungsstrategie bei Vorliegen mehrerer Frakturen verschiedener Körperregionen

Insgesamt orientiert sich die Vorgehensweise bei schwerstverletzten Patienten an der für das Überleben des Patienten relevanten Blutungsquelle. Dies bedeutet im Einzelnen, dass zunächst – notfallmäßig – Blutungen im Bereich des Thorax, Abdomens und/oder Beckens behandelt werden. Im Anschluss hieran – falls nicht bereits gleichzeitig möglich – sind Verletzungen des Schädels/Zerebrums zu versorgen. Sollte bis zu diesem Zeitpunkt noch keine radiologische Diagnostik des Patienten durchgeführt worden sein, schließt sich diese nun an. Ausgedehnte Weichteilverletzungen oder knöcherne Verletzungen, die in dieser Phase nachgewiesen werden, können daraufhin versorgt werden (z. B. Fixateur externe, Vakuumversiegelung). Anschließend ist der Patient auf der Intensivstation zu stabilisieren; die weitere Versorgung kann dann in Abhängigkeit vom Verlauf und von den Kompensationsmöglichkeiten des Patienten geplant werden. Dabei ist zu betonen, dass die körperliche, klinische, radiologische und laborchemische Diagnostik nicht mit Abschluss der Schockraumbehandlung bzw. der Operation endet, sondern dass speziell innerhalb der ersten 24 Stunden eine engmaschige Kontrolle und Reevaluation erfolgen müssen. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die Rate übersehener Frakturen beim Polytrauma bis zu 12 % beträgt [9], [12], [37].

1.3 Physiologische Veränderungen nach Trauma

Verletzungen – ob einfach oder komplex – verursachen Schmerzen, Blutungen und nicht zuletzt die Aktivierung der sogenannten systemischen Inflammationsantwort (SIRS, Systemic Inflammatory Response Syndrome). Obwohl die Entzündungsreaktion lange Zeit als erstes Zeichen der beginnenden Heilung verstanden wurde, hat sich in den vergangenen Jahren mehr und mehr gezeigt, dass verschiedene metabolische, physiologische und immunologische Veränderungen nach dem Trauma auftreten und ein komplexes Zusammenspiel dieser noch nicht bis ins Detail verstandenen Vorgänge das weitere Ergebnis des Patienten wesentlich beeinflussen können [4], [13], [34], [38], [53], [55], [61], [63], [70], [71]. Diese Veränderungen des biochemischen und physiologischen Milieus verursachen eine weitreichende sekundäre Veränderung in den entsprechenden Organfunktionen. Diese Veränderungen beziehen nicht zuletzt das Immunsystem, das kardiovaskuläre, pulmonale und/oder gastrointestinale System mit ein [4], [13]. Knöcherne Verletzungen,

speziell solche der langen Röhrenknochen, sind dabei als Ursache derartiger Veränderungen und Probleme nachgewiesen worden [53]. Napolitano et al. konnten im Mausmodell zeigen, dass Frakturen des Femurs zu einer Suppression der Immunantwort und auch einer gastrointestinalen Permeabilitätsstörung führten [46].

Unser bisheriges Verständnis der Pathophysiologie des Traumas unterscheidet bei Verletzungen sowie den aus ihnen hervorgegangenen Effekten einen „First Hit“ und einen „Second Hit“. Dabei werden unter First Hit die initial erlittenen Verletzungen und ihre unmittelbaren Folgen, z. B. Organverletzungen, knöcherne und Weichteilverletzungen, Hypotension und Hypoxämie, subsummiert. Als Second Hit werden die sich im weiteren Verlauf ggf. einstellenden Komplikationen oder auch notwendigen operativen Eingriffe und Interventionen, die zu einer Reaktivierung oder auch Exazerbation der initial immunologischen Traumaantwort führen, verstanden [19]. Beispiele sogenannter Second Hits sind das Kompartmentsyndrom, die Sepsis, Hypotension und Multiorganversagen, aber auch invasive operative Eingriffe und Interventionen. Die operative Versorgung von Femurfrakturen mittels Marknagel ist eines der am besten charakterisierten Beispiele für einen Second Hit [53], [55]. Die Vermeidung einer Störung oder Verschlechterung der systemischen Inflammationsantwort ist dementsprechend das Kernstück des Konzepts der Damage Control Orthopaedics, DCO (S. 39).

1.3.1 Systemisches Inflammationsreaktionssyndrom (SIRS)

Sowohl die schwere Mehrfachverletzung als auch ausgedehnte zeitintensive operative oder interventionelle Eingriffe verursachen die Freisetzung verschiedener Zytokine, Arachidonsäuremetaboliten, Komplementfaktoren, Akute-Phase-Proteinen und unterschiedlichen Hormonen. Die Gesamtheit dieser Veränderungen wird durch den Begriff der systemischen Inflammationsreaktion (SIRS) beschrieben.

Die klinische Manifestation dieser metabolischen, immunologischen und/oder biochemischen Veränderungen ist komplex und äußert sich u. a. in Fieber, Tachykardie, Hyperventilation und/oder Leukozytose. Obwohl die hier ablaufenden Vorgänge immer besser verstanden werden und in mehr oder weniger vorhersehbarem zeitlichem Verlauf auftreten, bleibt der Großteil dieser Immunantwort auf das initiale Trauma sehr variabel und scheint mitunter genetisch vorbestimmt [27].

Als Gegenpart des SIRS kommt es durch die Produktion antiinflammatorischer Mediatoren zum sogenannten CARS (kompensatorisches antiinflammatorisches Reaktionssyndrom) [34]. Dabei kann es durch eine Dysbalance zwischen der systemischen inflammatorischen und der systemischen antiinflammatorischen Antwort zur Ausbildung eines Multiorganversagens (MOV), eines progre-

dienten Lungenversagens (ARDS, Adult Respiratory Distress Syndrome) und/oder einer Sepsis kommen [34].

Die spezifischen Kriterien für die Diagnose des SIRS wurden 1991 auf einer Konsensuskonferenz festgelegt (s. u.) [2]. Das Vorliegen eines SIRS kann einfach durch den SIRS-Score quantifiziert werden [71]. Das SIRS ist prädiktiv hinsichtlich einer Vielzahl von Komplikationen, wie etwa dem ARDS, der disseminierten intravasalen Koagulopathie (DIC), dem akuten Nierenversagen und dem Schock [61].

Definition

Systemisches Inflammationsreaktionssyndrom (SIRS)

Definition der Konsensuskonferenz des American College of Chest Physicians/Society of Critical Care Medicine (ACCP/SCCM)

Mindestens zwei der vier folgenden klinischen Parameter müssen vorliegen:

- Herzfrequenz > 90/min
- Leukozyten < 4000/mm³ oder > 12 000/mm³ oder ≥ 10 % juvenile neutrophile Granulozyten
- Atemfrequenz > 20/min und PaCO₂ < 32 mmHg
- Körpertemperatur < 36 °C oder > 38 °C

Definition

SIRS-Score

Vier klinische Parameter werden beurteilt (0 = nicht vorliegend oder 1 = vorliegend):

- Puls > 90/min
- Leukozyten < 4000/mm³ o. > 12 000/mm³ o. ≥ 10 % juvenile neutrophile Granulozyten
- Atemfrequenz > 20/min (oder PaCO₂ < 33 mmHg)
- Körpertemperatur < 34 °C oder > 38 °C

Hierdurch ergibt sich ein Score zwischen 0 und 4. Bei einer Punktzahl über 1 kann – wenn keine Sepsis vorliegt – von einem SIRS ausgegangen werden.

Wie eingangs erwähnt, wird die systemische Inflammation durch eine Vielzahl freigesetzter Zytokine gesteuert. Als proinflammatorische Zytokine sind u. a. zu nennen: Tumornekrosefaktor- α (TNF- α), Interleukin-1 β (IL-1 β), IL-6 und IL-8, welches als Neutrophilen-Aktivationspeptid (NAP) bekannt ist. Erhöhte Serumspiegel dieser Zytokine können dementsprechend in Patienten mit SIRS oder ARDS nachgewiesen werden [13]. Serumspiegel des IL-6 korrelieren dabei mit dem Ausmaß des Weichteil- und/oder Thoraxtraumas bzw. dem Injury Severity Score (ISS); aber auch mit dem Auftreten eines MOV, ARDS und/oder einer Sepsis sowie dem späteren Ergebnis [4].

Die physiologischen Veränderungen, die durch hohe Spiegel zirkulierender proinflammatorischer Zytokine induziert werden, wie die Rekrutierung polymorphkerniger Leukozyten (PMN) an den Ort der Verletzung, führen dann im weiteren Verlauf zur Freisetzung von Proteasen und freien Radikalen. Ferner kommt es zur Aktivierung des Komplementsystems sowie des Kallikrein-Kinin-Systems. Von der Leber werden Akute-Phase-Proteine wie das C-reaktive Protein (CRP), α_1 -Antitripsin, α_2 -Makroglobulin, Coeruloplasmin, Lipopolysaccharid-(LPS-)bindende Proteine (LBP), Fibrinogen und Prothrombin produziert. An dieser Stelle sei auf ausführlichere Abhandlungen dieser Thematik hingewiesen [17], [34].

Wie bereits erwähnt ist die Ansammlung und Stimulation von polymorphkernigen Leukozyten (PMN) an der Verletzungsstelle bzw. der Fraktur notwendig für die Eliminierung und Phagozytose von Bakterien und/oder nekrotischem, avitalem Gewebe. Allerdings kommt es durch diese frühe Aktivierung als Antwort auf das Trauma paradoxerweise zu einem diametralen Effekt, wobei aktivierte PMN in Gegenwart proinflammatorischer Zytokine und Toxine wie LPS die Produktion bestimmter Adhäsionsmoleküle hochregulieren und am endothelialen Gewebe binden. Erhöhte Spiegel dieser Adhäsionsmoleküle (Adhäsine) konnten in Untersuchungen von Law et al. nachgewiesen werden und als Prädiktor für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Komplikationen bestimmt werden [38].

Dementsprechend gilt die Ansammlung und Aktivierung von PMN im Bereich der Verletzung als einer der initialen Gründe für die weitere Gewebeschädigung [16]. Dabei setzen aktivierte PMN und Makrophagen nach Stimulation proteolytische Enzyme wie Elastase und/oder Metalloproteasen frei, und es kommt zur Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies [16], [68]. Diese Enzyme führen zu einer Zerstörung der extrazellulären Matrixproteine wie auch unterschiedlicher Plasmaproteine. Zusätzlich führt die Elastase zu einer weiteren Freisetzung proinflammatorischer Zytokine und der Gefahr einer potenziellen Exazerbation der Immunantwort. Erhöhte Elastase und Elastase- α_1 -Proteaseinhibitor-Komplex-Spiegel können bei Traumapatienten je nach Verletzungsschwere und posttraumatischem Verlauf festgestellt werden [63].

1.3.2 Multiorganversagen (MOV)

Kommt es bei schwerverletzten Patienten zu einer unzureichenden Abwehrreaktion, kann es zum Auftreten eines septischen Krankheitsbilds sowie progressiver zerebraler, kardiovaskulärer, pulmonaler, hepatischer, gastrointestinaler, renaler und/oder kardiozirkulatorischer Dysfunktion und letztendlich auch zum Zusammenbruch aller genannten Systeme kommen [62]. Dieses klinische Phänomen wird allgemein als Multiorganversagen (MOV) bezeichnet. Obwohl das MOV anfänglich als Folge einer Sepsis betrachtet wurde, ist heute bekannt, dass es auch

Tab. 1.1 Beteiligung unterschiedlicher Organsysteme beim Multiorganversagen (MOV).

Organsystem	Störung im Rahmen eines MOV
Gehirn	Hirnödeme
Herz-Kreislauf-System	Hypotension, Schock
Lunge	Lungenversagen, ARDS
Leber	Synthesesteigerung von Akute-Phase-Proteinen und Zytokinen; herabgesetzte Leberfunktion
Gastrointestinaltrakt	Permeabilitätsstörung, bakterielle Translokation
Niere	akutes Nierenversagen (ANV), Tubulusnekrosen
Gerinnung	disseminierte intravasale Gerinnungsstörung (DIC)

bei nichtseptischen Patienten auftreten kann. Dementsprechend wird das MOV gegenwärtig aus einer Dysbalance zwischen pro- und antiinflammatorischen Mechanismen erklärt [67], [71].

Dabei sind die schlussendlichen Gründe des MOV noch nicht bis in alle Einzelheiten geklärt. Auf zellulärer Ebene kommt es zu mannigfaltigen Veränderungen wie Endothelial- und Zellschäden, einer erhöhten Gefäßpermeabilität mit kapillaren Lecks sowie Veränderungen der Mikrozirkulation mit nachfolgender zellulärer Hypoxie und Apoptose der Parenchymzellen [62]. Letztendlich können alle großen Organsysteme von dieser Dysfunktion bzw. diesem Versagen alleine oder in Kombination betroffen sein (► Tab. 1.1). Patienten, die im Verlauf ihrer schweren Mehrfachverletzung ein MOV entwickeln, weisen trotz modernster intensivmedizinischer Behandlungsoptionen auch heute noch eine hohe Mortalität und Morbidität auf.

1.3.3 Frakturversorgung und SIRS – Second Hit

Wie bereits angesprochen, beeinflusst die Behandlung muskuloskelettaler Verletzungen die Entwicklung und Ausprägung eines SIRS bzw. MOV. Wenngleich Traumapatienten hinsichtlich der Komplikationen, die durch eine lang andauernde Immobilisation auftreten können (► Abb. 1.1), von einer frühzeitigen Frakturversorgung profitieren würden, hat sich gerade bei der Versorgung langer Röhrenknochen gezeigt, dass es hierdurch im Sinne eines Second Hit zu einer Verschlechterung der Gesamtsituation mit Exazerbation des SIRS und in der Folge zur Entwicklung eines MOV kommen kann (► Abb. 1.2) [19], [53], [55].

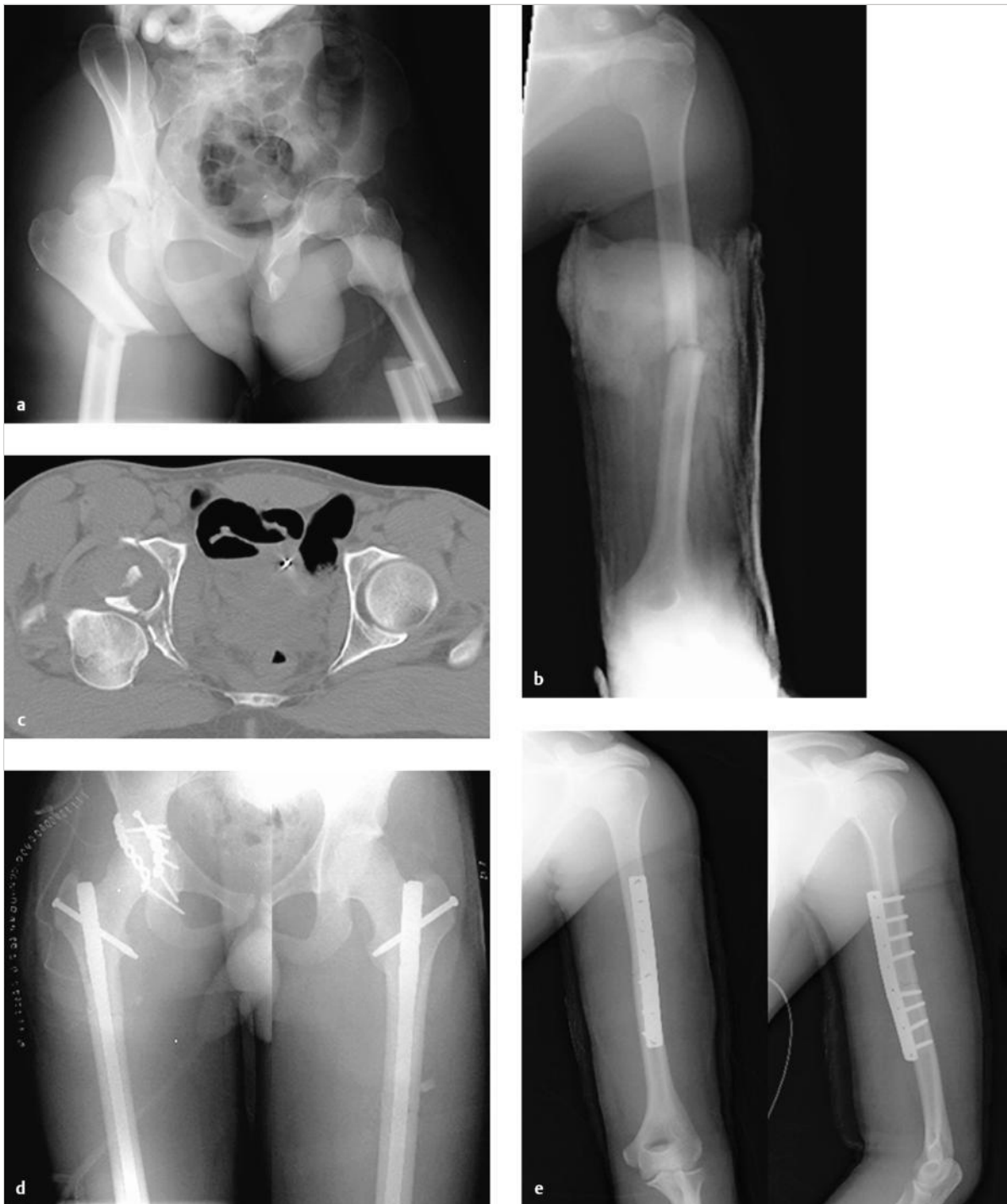


Abb. 1.1 Patient mit multiplen Frakturen. Komplikationslose unmittelbare Versorgung aller Frakturen.

a A.-p. Beckenübersichtsaufnahme mit Nachweis einer rechtsseitigen Hüftluxation, transverser und hinterer Pfeilerfraktur des Azetabulums und beidseitiger Femurschaftfraktur.

b A.-p. Aufnahme einer Humerusschaftquerfraktur.

c Computertomografie des Beckens mit Darstellung der Azetabulumfraktur und der Hüftkopfluxation. Es fanden sich keine weiteren Verletzungen, und der Patient konnte umgehend in den OP gebracht werden. Hier erfolgte die offene Reposition der Hüftluxation, Marknagelung der Femora und Plattenosteosynthese der Azetabulumfraktur. Die Versorgung der Humerusfraktur erfolgte im Verlauf.

d Postoperative Röntgenaufnahmen des Beckens und der Femora nach Versorgung der Frakturen.

e Postoperative Röntgenaufnahmen des linken Armes nach Plattenosteosynthese des Humerus.

Fortsetzung ►



Abb. 1.1 Fortsetzung; Patient mit multiplen Frakturen. Komplikationslose unmittelbare Versorgung aller Frakturen.

f Röntgenaufnahmen des Beckens und der Beine ein Jahr postoperativ zeigen gut verheilte Frakturen ohne Anzeichen von Osteonekrose oder Arthrose.

g Abschließende Röntgenaufnahmen des Humerus ein Jahr postoperativ.

Giannoudis et al. [19] konnten bei Patienten, deren Femurfrakturen aufgebohrt und unaufgebohrt versorgt wurden, erhöhte Spiegel der Inflammationsmarker IL-6 und Elastase als Zeichen einer Verstärkung der systemischen Inflammation als Antwort auf das intramedulläre Verfahren nachweisen. Basierend auf diesen Untersuchungen, aber auch auf Untersuchungen von Pape et al., ist es heutzutage überwiegend Standard, dass Patienten mit schweren Mehrfachverletzungen keiner zeitintensiven und belastenden Operation/Intervention ausgesetzt werden (sollten). Besonderes Augenmerk wurde in diesem Zusammenhang auf den „Borderline“-Patienten gelegt [50].

Definition

Parameter zur Definition des „Borderline“-Patienten

- ISS > 20 und AIS Thorax > 2
- Mehrfachverletzung mit Abdominal- oder Beckentrauma und Schock (initialer Blutdruck < 90 mmHg)
- ISS > 40 ohne Thoraxtrauma
- beidseitige Lungenkontusionen
- mittlerer pulmonal-arterieller Druck > 24 mmHg
- Anstieg des Pulmonalarteriendrucks während Femurmarknagelung > 6 mmHg

(Daten angepasst aus: Tscherne H. Early definitive fracture fixation with polytrauma: advantages versus systemic/pulmonary consequences. In: Baue AE, Faist E, Fry M, eds. Multiple Organ Failure. New York: Springer; 2000: 279–290)

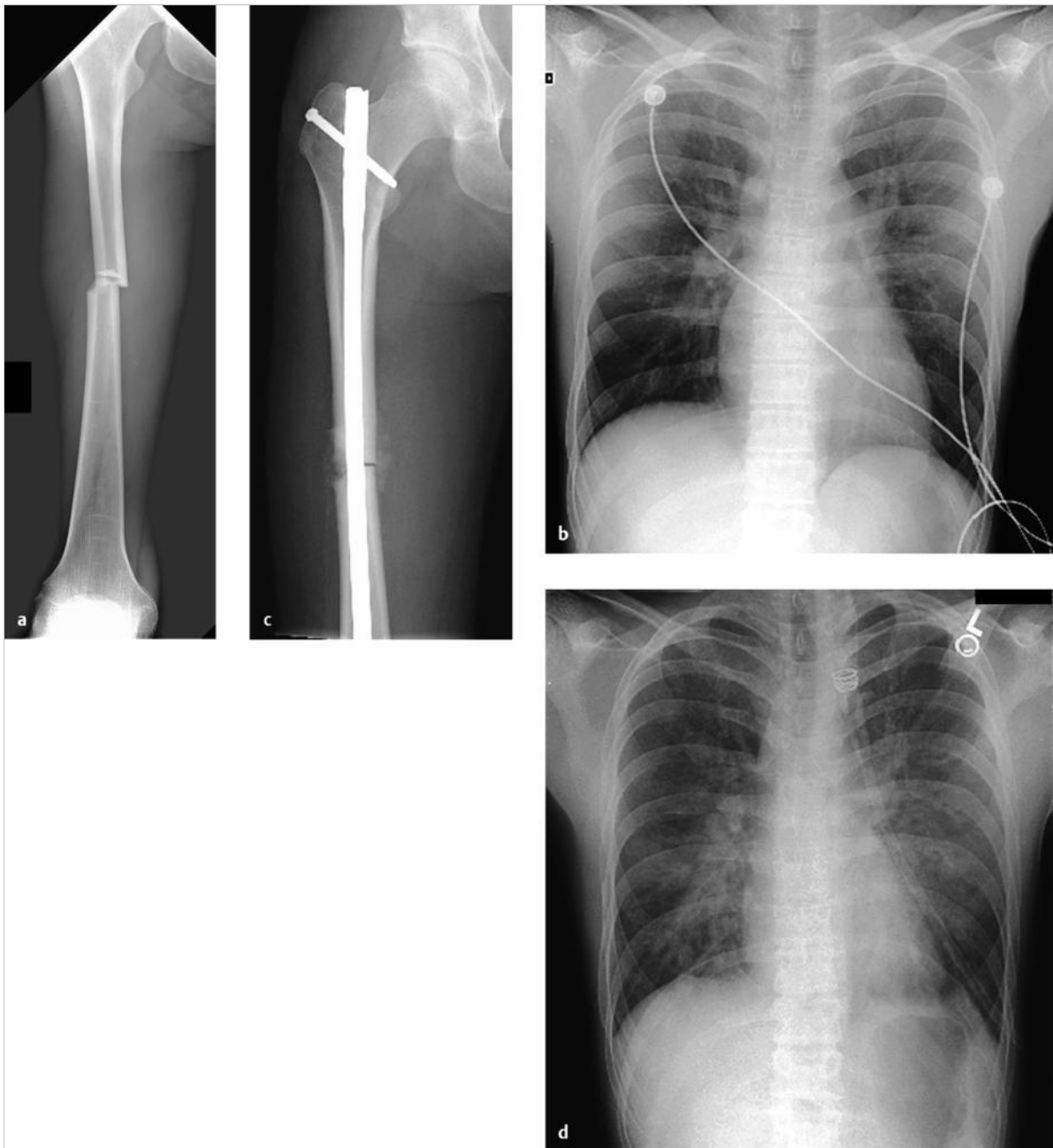


Abb. 1.2 Patient mit isolierter Femurschaftfraktur, der nach unkomplizierter Versorgung mittels Femurnagel pulmonale Infiltrate entwickelte. Hierdurch kam es zu einer prolongierten Beatmungsdauer; der Patient erholte sich jedoch im Verlauf vollständig.

a Röntgenbild der Femurschaftfraktur.

b Normaler Röntgen-Thorax bei Aufnahme.

c Marknagelung des Femurs. Postoperativ entwickelte der Patient zunehmende Atemnot und musste in die Intensivstation verlegt werden.

d Röntgen-Thorax mit Entwicklung bilateraler Infiltrate nach OP.

Pape et al. untersuchten schwerverletzte Patienten, welche klinisch stabil waren und Femurfrakturen aufwiesen [53]. Das Kollektiv wurde hinsichtlich der Versorgung der Femurfrakturen in drei Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: primäre Versorgung mittels Femurnagel
- Gruppe 2: primäre Versorgung mittels Fixateur externe
- Gruppe 3: sekundäre Versorgung mittels verzögerter Femurnagelung

Sowohl klinische Parameter als auch Serumspiegel von IL-1, IL-6 und IL-8 wurden im Verlauf zur Evaluation herangezogen. Die Autoren fanden, dass die IL-6- und IL-8-Spiegel nach der primären Versorgung mittels Femurnagel höher lagen als nach primärer Fixateur-externe-Anlage oder nach sekundärer (verzögerter) Versorgung. Signifikante klinische Unterschiede wurden in der Studie nicht gefunden.

In einer neueren Studie desselben Zentrums wurde ein ähnliches Patientenkollektiv untersucht, wobei als Parameter für das spätere Ergebnis der SIRS-Score und der Marshall-Score [24] für Multiorganversagen herangezogen wurden [42]. Hierbei zeigte sich, dass Patienten der Gruppe 1 (primäre Versorgung mit Femurnagel) trotz geringer Gesamtverletzungsschwere einen höheren SIRS-Score aufwiesen als solche der Gruppe 2 (Fixateur-externe-Versorgung). Patienten, die initial mittels Fixateur externe und erst im Verlauf definitiv durch Femurmarknagelung versorgt wurden, wiesen durchgehend niedrigeren SIRS-Scores auf als Patienten der Gruppe 1.

Fazit

Die initiale Versorgung knöcherner Verletzungen, speziell der langen Röhrenknochen, ist bei schwerverletzten Patienten äußerst zurückhaltend zu sehen, weil diese Patienten im Verlauf durch ein erhöhtes Auftreten einer SIRS oder eines MOV gefährdet sind.

1.4 Prioritätenadaptiertes Therapiemanagement

Die Versorgung schwerverletzter Patienten hat in den letzten Jahrzehnten mehrere einschneidende Veränderungen durchlebt. So wurden noch in den 1970er Jahren Frakturen primär nicht definitiv versorgt („zu krank zum Operieren“). Typischerweise wurden diese Patienten zunächst bis zur definitiven Versorgung im komplikationsfreien Intervall nach Stabilisierung der Gesamtsituation im Gips oder per Extension ruhiggestellt.

In den späten 1980er Jahren, einhergehend mit Verbesserungen in der klinischen intensivmedizinischen und diagnostischen Versorgung schwerverletzter Patienten, ging man zunehmend dazu über, Frakturen bei schwer-

verletzten Patienten primär zu versorgen, um die Gefahren der langen Immobilisierung zu minimieren. Erste retrospektive Untersuchungen zu diesem bis dato neuen Vorgehen zeigten die Vorteile dieser Vorgehensweise. Es fanden sich ein Rückgang des ARDS, von Pneumonien sowie eine Verkürzung der Gesamtaufenthaltsdauer des Patienten [66].

Bone et al. [6] konnten in einer prospektiven randomisierten Studie zeigen, dass Patienten mit frühzeitiger definitiver Versorgung innerhalb von 24 Stunden (verglichen mit der verzögerten Versorgung nach > 48h) bei Femurschaftfrakturen eine niedrigere Rate von ARDS aufwiesen, kürzer beatmet werden mussten und früher aus dem Krankenhaus entlassen werden konnten [6]. Mit zunehmender Verbreitung dieses aggressiven Versorgungskonzepts bei schwerverletzten Patienten fanden sich aber zunehmend vermehrte Komplikationen nach primärer intramedullärer Versorgung von Femurschaftfrakturen [51].

Speziell bei Patienten, bei denen neben den knöchernen Verletzungen ein begleitendes Thoraxtrauma vorlag, führte die primäre Versorgung mittels Femurnagel zur Entwicklung eines postoperativen ARDS [51]. Obwohl die femorale Marknagelung beträchtliche Effekte auf die pulmonale Physiologie zeigt [25], konnten weitere Arbeiten zeigen, dass pulmonale Komplikationen eher mit der Schwere des begleitenden Thoraxtraumas als mit der Art der Frakturversorgung assoziiert sind [7]. Aufbauend auf diesen sowie anderen Arbeiten wurde in den späten 1990er Jahren die primäre definitive Frakturversorgung zugunsten der primären Stabilisierung mittels Fixateur externe und verzögerten definitiven Versorgung verlassen. Dieses Vorgehen ist allgemein als Damage Control Orthopaedics (DCO) bekannt.

Surviving the Night

Eine adäquate, prioritätengerechte Stabilisierung des schwerverletzten Patienten ist vor allem in der Frühphase unabdingbar. Bei Patienten mit multiplen Extremitätenverletzungen können über zentralvenöse Zugänge eine ausreichende Volumensubstitution sowie die Transfusion von Blut- und Gerinnungsprodukten erfolgen, ohne spätere operative Zugangswege zu beeinträchtigen.

Beckenringverletzungen können mit einem massiven Blutverlust einhergehen. In diesen Fällen muss die Anlage eines Fixateur externe erwogen werden.

1.4.1 Versorgungszeitpunkt

Die zeitintensive operative Versorgung schwerverletzter Patienten in der Primärphase kann zur Begünstigung oder Verschlechterung einer vorliegenden Hypothermie und/oder Koagulopathie führen. Dabei ist eine Kerntemperatur von 34 °C mit einer relevanten Verschlechterung der Gerinnung und einer erhöhten Mortalität assoziiert. Schwerverletzte Patienten erhalten häufig große Mengen an Volumenlösungen in Raumtemperatur. Zudem sind sie hinsichtlich einer Hypothermie durch etwaige abdominale oder thorakale operative Versorgung gefährdet. Darüber hinaus führt ein hoher Blutverlust mit entsprechendem Volumenbedarf und einer ebensolchen -substitution durch den Verlust von Thrombozyten sowie Gerinnungsfaktoren (z. B. Faktor V und Faktor VIII) zu einer weiteren Verschlechterung der Gerinnungssituation bis hin zur disseminierten intravasalen Koagulopathie (DIC). Dementsprechend sind die Grenzen operativer Maßnahmen bei Vorliegen einer Hypothermie, Koagulopathie und Azidose („letale Trias“) begrenzt und bewegen sich in einem engen, oftmals schwer zu definierenden Rahmen.

Der Trauma-Leader spielt dementsprechend besonders in der Primärphase des Polytrauma-Managements eine Schlüsselrolle. Er hat nach Einholen aller relevanten Informationen und Gesamtbewertung der Situation zu entscheiden, welche Verletzungen einer umgehenden akuten Behandlung bedürfen und welche Verletzungen im Anschluss an die akute Versorgung behandelt werden sollen und können. Ebenso muss in diesem ersten operativen Setting die Basis- und Gesamtdiagnostik abgeschlossen und der Patient danach zur weiteren Stabilisierung auf die Intensivstation verbracht werden. Erst nach Stabilisierung schließen sich im weiteren Gefolge nach 48 Stunden die weiteren operativen Versorgungsschritte an.

Die folgende Textbox bietet einen Anhaltspunkt für das prioritätenadaptierte Vorgehen bei schwerverletzten Patienten. Selbstverständlich kann dieses Schema nicht als strikte Vorgabe dienen, da der operative Versorgungszeitpunkt immer auch die jeweilige Verletzungscharakteristik, ebenso wie die Stabilität des Patienten und die Verfügbarkeit eines geeigneten chirurgischen Teams mit einbeziehen sollte.

Praxis



Empfehlungen zum operativen Zeitpunkt bei (schwerverletzten) Patienten

- notfallmäßig (innerhalb von maximal 1–2 h):
 - Kompartmentsyndrom
 - (offene) Frakturen mit Gefäß-, Nervenverletzung
 - Gelenkluxationen (z. B. Knie, Hüfte)
 - Beckenfrakturen bei hämodynamischer Instabilität
- dringlich (innerhalb von 6–12 h):
 - Frakturen langer Röhrenknochen
 - Schenkelhalsfrakturen bei jungen Patienten
 - Talushalsfrakturen
 - offene Frakturen ohne Gefäß-, Nervenbeteiligung
 - Wirbelsäulenfrakturen mit neurologischem Defizit
- frühzeitig (innerhalb von 24 h):
 - Femurschaftfrakturen bei nicht schwerverletzten Patienten
 - Gelenkfrakturen (z. B. Fixateur externe bei Pilon-tibiale-Fraktur)
 - Schenkelhals- und pertrochantäre Femurfrakturen
- geplant (1.–7. Tag):
 - Sprunggelenksfrakturen, Frakturen des Fußskeletts
 - Azetabulumfrakturen
 - definitive Versorgung instabiler Beckenfrakturen
 - Radiusfraktur, Kondylenfrakturen des Humerus/Femur
 - Wirbelsäulenfrakturen (ohne neurologisches Defizit)
- verzögert (1.–4. Woche):
 - artikuläre Frakturen der unteren Extremität, bei denen das Ausmaß der Weichteilschwellung entscheidend für den Zeitpunkt der operativen Versorgung ist (z. B. Kalkaneusfrakturen, Pilon-tibiale-Fraktur, Tibiakopffraktur)

1.4.2 Damage Control Orthopaedics (DCO)

Versorgungsphasen

DCO beinhaltet die abgestufte Versorgung von Frakturen bei Patienten mit einer Mehrfachverletzung, die gleichzeitig lebensrettender, kreislaufstabilisierender Maßnahmen bedürfen:

- Die erste Phase stellt die Stabilisierung des Patienten dar und beinhaltet die Blutungskontrolle, das Débridement und die Spülung offener Wunden sowie die externe Fixierung. Bei Patienten „in extremis“ müssen diese Maßnahmen mitunter bereits im Schockraum oder in der Intensivstation durchgeführt werden.

- Die zweite Phase umfasst die Stabilisierung auf der Intensivstation und beinhaltet das Monitoring, die Transfusion von Blutprodukten und die weitere hämodynamische Stabilisierung.
- In der dritten Phase erfolgt die definitive Versorgung der Frakturen, sobald der Patient sich in einer optimalen Verfassung hierfür befindet.

Das Ziel des DCO-Konzepts ist es dementsprechend eine ausreichende Frakturstabilisierung zu erzielen, um den Patienten frühzeitig zu mobilisieren und die lokale Inflammation zu verringern; gleichzeitig werden große operative Eingriffe in dieser Phase vermieden, um den Patienten nicht i.S. eines Second Hit zu gefährden. Auch wenn die externe Frakturfixierung die primäre Methode des DCO-Konzepts darstellt, kann gleichwohl die unaufgebohrte Nagelung zu seinen Prinzipien gezählt werden. Untersuchungen hierzu haben gezeigt, dass die unaufgebohrte Nagelung eine geringere zusätzliche Belastung darstellt als die aufgebohrte [19] und möglicherweise auch eine geringere pulmoembolische Belastung, was allerdings noch immer kontrovers diskutiert wird [74].

Einteilung der Patienten

Pape et al. [52] haben eine Einteilung des polytraumatisierten Patienten in vier Kategorien vorgenommen:

- stabil
- „borderline“
- instabil
- „in extremis“

Erstgenannte Patienten sind hämodynamisch stabil und normotherm mit einem Laktat unter 2,0 mmol/l sowie ohne respiratorische Einschränkung oder Zeichen einer Koagulopathie ► Tab. 1.2). Stabile Patienten können dabei innerhalb von 24 Stunden eine definitive Behandlung ihrer Verletzung(en) erhalten. Der Borderline-Patient (S. 36) hingegen sollte zunächst vor Beginn der operativen Phase ausreichend stabilisiert werden. Wenngleich er potenziell ebenfalls eine frühzeitige definitive Versorgung der erlittenen Verletzungen erhalten darf, verbleibt hier ein nicht unerhebliches Restrisiko für eine schnelle und rapide Verschlechterung. Im Zweifelsfall sollten diese Patienten wie instabile Patienten behandelt werden. Letztere werden nach dem DCO-Konzept behandelt und unterscheiden sich von Patienten „in extremis“ dadurch, dass bei letzteren oftmals alle lebensrettenden, operativen Maßnahmen notfallmäßig bereits im Schockraum durchgeführt werden müssen [26], [52].

Obwohl die Bestimmung der IL-6-Spiegel bei der Bestimmung des OP-Zeitpunkts klinisch relevant zu sein scheint, ist sie keine ubiquitär angewandte Labormethode, was ihre Routineanwendung im Krankenhaus schwierig macht. Serumlaktatspiegel werden aufgrund ihrer schnellen und einfachen Bestimmung routinemäßig gebraucht. Der Laktatwert gilt dabei als Ausdruck der Ge-

Tab. 1.2 Kriterien für die definitive Frakturversorgung.

Parameter	Wert
systolischer Blutdruck	> 90 mmHg
Körpertemperatur	> 34 °C
Urinmenge	> 150 ml/h
zerebraler Perfusionsdruck	> 70 mmHg
SIRS-Score	< 2
PaO ₂ -FiO ₂ -Verhältnis	> 280
Laktat	< 2,0 mmol/l
Thrombozyten	> 100 000/μl
CRP	< 11 mg/dl
Interleukin-6	< 500 pg/dl

webepfusion. In Traumafällen mit ungenügender Gewebepfusion auf dem Boden einer Hypoxie, Blutverlust oder kardiogenem Schock kommt es dementsprechend zu erhöhten Laktatspiegeln. Studien konnten dabei nachweisen, dass das Ausmaß der Erhöhung bei Einlieferung, sowie die Zahl der Tage der pathologischen Erhöhung mit einem Multiorganversagen korrelieren [11], [41]. Weitere verwendete Marker sind eine Thrombozytenzahl > 100 000/μl, ein CRP < 11 mg/dl und ein PO₂-FiO₂-Quotient > 280 [73]. Der SIRS-Score (S. 33) hat sich als Prädiktor für Mortalität und Infektionsrisiko gezeigt, kann aber auch als Marker für eine adäquate Wiederherstellung für eine Operation herangezogen werden (► Tab. 1.2) [5], [40], [45].

DCO-Techniken

Primäres Ziel des DCO-Konzepts sind Débridement und ggf. VAC-Versorgung offener Wunden, Reposition und externe Fixierung langer Röhrenknochen, Reposition von Gelenkluxationen oder des Beckens. Dabei kann die Anlage des Fixateur externe einfach und schnell an den verschiedenen Knochen wie Tibia und Femur, oder auch gelenkübergreifend an Knie und Sprunggelenk durchgeführt werden. Die Fixateur-externe-Anlage kann dabei schnell und gelegentlich auch simultan zur Versorgung anderer Verletzungen durchgeführt werden. So konnte in einer Studie gezeigt werden, dass die durchschnittliche OP-Zeit zur Anlage eines Fixateurs 35 min betrug, verglichen mit 135 min bei Marknagelung [64].

Eine neuere Bohrtechnik, die zu einer Verringerung des intramedullären Drucks führt, kann zur Marknagelung bei Borderline-Patienten oder Patienten mit multiplen Frakturen der langen Röhrenknochen eingesetzt werden. Bei dieser Bohrtechnik wird mittels eines speziellen Boh-



Abb. 1.3 Kniegelenk-übergreifender Fixateur externe.

a Patient mit Tibiplateaufraktur.

b Kalkaneofemorale Fixateur externe bei Patientin mit Femurfraktur, Tibiplateaufraktur, Pilon-tibiale-Fraktur.

ders der freigesetzte Markrauminhalt aufgefangen. Im Tiermodell konnte eine signifikante Reduktion des intra-medullären Drucks wie auch des Ausmaßes der Fett-embolisierung mit dieser Technik nachgewiesen werden [31], [65]. Hierdurch kann die Inzidenz von Fettembolien ggf. reduziert und die Gefahr pulmonaler Komplikationen verringert werden.

Überbrückender Fixateur externe

Der Patient wird auf einem röntgendurchlässigen Tisch gelagert. Die verletzte Extremität wird abgewaschen und abgedeckt. Je nach Situation kann eine Blutsperre angelegt werden, z.B. wenn ein offenes Vorgehen notwendig wird. Für gewöhnlich werden 5-mm-Schanz-Schrauben verwendet. Das Einbringen der Schrauben erfolgt manuell; dabei sollte die Stelle der Insertion so gewählt werden, dass sie weit von nachfolgenden Inzisionen und Implantatpositionierungen entfernt liegt, da sich die Pin-Stellen infizieren, zumindest aber kontaminieren können. Die Haut sollte durch die Pins nicht unter Spannung geraten, ggf. sollte hier nachinzidiert werden.

Bei Kniegelenk-übergreifenden Fixateuren sollten die proximalen Pins anterolateral angebracht werden, um den Quadrizepsmuskel nicht unnötig zu irritieren. Tibial sollten die Pins entweder über die vordere Schienbeinkante oder etwas medial hiervon eingebracht werden. Zwei Pins (Schanz-Schrauben) pro Knochen sind ausreichend. Anschließend werden die tibialen und femoralen Pins mit je einer Längsstange verbunden und – ggf. über eine dritte Stange – fest miteinander fixiert (► Abb. 1.3a). Bei Vorliegen weiterer Frakturen oder von Weichteilverletzungen der unteren Extremität muss der Fixateur gelegentlich bis auf den Kalkaneus erweitert werden (► Abb. 1.3b).

Für Sprunggelenk-übergreifende Fixateure werden normalerweise drei Pins benötigt (► Abb. 1.4): zwei Pins in der Tibiavorderkante und ein Pin im Kalkaneus. Letzterer wird von medial eingebracht, um die neurovaskulären Strukturen zu schonen. Zum Ausschluss einer gleichzeiti-



Abb. 1.4 Sprunggelenk-übergreifender Fixateur externe.

gen Fraktur des Kalkaneus sollte dieser vor Einbringen des Pins geröntgt werden. Die tibialen Pins werden mit einer kurzen Stange verbunden, über die wiederum je eine lange Stange an den Enden des kalkanearen Pins fixiert wird. Da durch eine solche Fixateuranlage eine vorliegende Luxation im Sprunggelenk noch verstärkt werden kann, ist bei Vorliegen einer (Sub-)Luxation im Sprunggelenk ein rechteckförmig konfigurierter Fixateur vorzuziehen.

Umsteigen vom Fixateur externe zur intramedullären Marknagelung

Das Umsteigen vom Fixateur auf die definitive operative Versorgung kann jederzeit erfolgen, sobald sich der Patient ausreichend erholt und stabilisiert hat. Ein verzögertes Umsteigen nach mehr als 14 Tagen hat ein erhöhtes Infektionsrisiko, da die Pin-Stellen als kontaminiert zu betrachten sind. Infektionsraten von 1,7–3% werden berichtet. Bei verzögerter Versorgung nach mehr als zwei Wochen werden erhöhte Raten beobachtet [22], [48], [64].

1.4.3 Besonderheiten bei Schädel-Hirn-Trauma-Patienten

Obwohl keine endgültige Evidenz hinsichtlich des Versorgungszeitpunkts von Frakturen beim Schwerverletzten mit vorliegendem Schädel-Hirn-Trauma besteht, verdient dieser Punkt seine Beachtung. Chirurgische Operationen jedweder Art können – bedingt durch den intraoperativen Blutverlust oder z.B. die Allgemeinnarkose – direkt oder indirekt zu Hypotension und/oder Hypoxie führen. Darüber hinaus werden dementsprechend oft nicht unerhebliche Mengen von Flüssigkeit intraoperativ appliziert. Diese unterschiedlichen Faktoren können in ihrer Gesamtheit signifikante Veränderungen in der zerebralen Perfusion hervorrufen, welche im weiteren Verlauf die kognitive Leistung bzw. das kognitive Ergebnis bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma beeinflussen können.

Verschiedene Studien konnten nachweisen, dass das Risiko neuer oder größerer intrazerebraler Läsionen auch nach initial negativem CCT besteht [69], [75]. Stein et al. [69] fanden bei 48% schwerverletzter Patienten mit gleichzeitig vorliegendem Schädel-Hirn-Trauma neue bzw. progrediente intrazerebrale Läsionen in den Kontroll-CTs. 55% der Patienten mit neuen oder progredienten Läsionen wiesen dabei eine Koagulopathie auf. Stein et al. folgerten aus den Untersuchungen, dass bei Vorliegen von mindestens einem pathologischen Gerinnungsparameter das Risiko einer sekundären oder progressiven intrazerebralen Läsion bei 85% liegt.

Insgesamt besteht in der Literatur keine Einigkeit darüber, ob Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma initial bereits eine definitive Osteosynthese erhalten oder zunächst mittels Fixateur externe versorgt werden sollten. Zahlreiche Studien berichten, dass kein Unterschied bei den neurologischen Ergebnissen besteht, wenn die Stabilisierung innerhalb der ersten 24 Stunden erfolgte.

Kalb et al. untersuchten 123 Patienten, die aufgrund einer Femurschaftfraktur und gleichzeitig vorliegendem SHT behandelt worden waren [32]. 84 Patienten waren innerhalb der ersten 24 Stunden versorgt worden. Wenngleich es keinen signifikanten Unterschied in der Volumengabe während der initialen Schockraumphase gab, so fanden sich doch ein signifikant größerer Blutverlust und intraoperative Volumengabe bei den Patienten, die frühzeitig behandelt wurden. Dabei ergab sich in der Studie kein signifikanter Unterschied hinsichtlich postoperativer neurologischer und nichtneurologischer Komplikationen bzw. dem Ergebnis. Die Gruppe der zeitnah versorgten Patienten zeigte höhere intraoperative zerebrale Perfusionsdrücke als diejenige der später versorgten, als Hinweis darauf, dass der intraoperative Volumen- und Blutbedarf adäquat behandelt werden konnte.

Brundage et al. fanden in ihrer Studie gleichfalls keine signifikanten Unterschiede in der postoperativen Glasgow Coma Scale (GCS) bei Patienten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten versorgt worden waren [8]. Die Autoren merkten jedoch an, dass alle Patienten in der frühver-

sorgten Gruppe vor OP-Beginn stabil waren und es sich hierbei nur um 65% der gesamten Kohorte handelte. Pool et al. konnten ebenfalls keine negativen neurologischen Späteeffekte bei frühzeitiger Versorgung von Femurschaftfrakturen nachweisen, wenn der systolische Blutdruck über 90 mmHg gehalten wurde und es zu keiner relevanten Hypoxie unterhalb von 90% O₂-Sättigung kam. Etwaige pulmonale Komplikationen, die bei den Patienten beobachtet wurden, traten unabhängig vom Zeitpunkt der Versorgung auf [59]. Einschränkend muss hier jedoch erwähnt werden, dass in der überwiegenden Zahl der vorliegenden Studien das neurologische Ergebnis mit der GCS gemessen wurde, welche hierfür letztendlich kein valides Messinstrument darstellt.

Townsend et al. [72] fanden in ihren Untersuchungen, dass bei SHT-Patienten, die mittels Femurnagel behandelt wurden, das Auftreten einer Hypotension mit dem Versorgungszeitpunkt korrelierte. Patienten, die innerhalb der ersten zwei Stunden eine operative Versorgung erhielten, wiesen in 68,2% intraoperative Episoden einer Hypotension auf – verglichen mit 8,3% der Patienten, die erst nach 24 Stunden oder später versorgt wurden. Trotz dieser Tatsache zeigte sich kein direkter Zusammenhang zwischen der intraoperativen Hypotension und dem späteren neurologischen Ergebnis [72]. Jaicks et al. [29] zeigten bei SHT-Patienten, die initial operiert wurden, eine vergleichbare neurologische Komplikationsrate, aber einen niedrigeren GCS bei Entlassung, verglichen mit Patienten, die erst verzögert operiert wurden [29].

Fazit



Insgesamt besteht Einigkeit darüber, dass Hypoxie und Hypothermie ebenso wie länger dauernde Phasen der Hypotension bei SHT-Patienten zu vermeiden sind. Darüber hinaus sind eine optimale klinische Stabilisierung des Patienten sowie eine adäquate und regelhafte Gerinnungsphysiologie Schlüsselfaktoren, um unerwünschte neurologische Ergebnisse nach Frakturstabilisierung zu vermeiden.

1.4.4 Ergebnisse

Der Einfluss der beschriebenen unterschiedlichen Faktoren, z.B. aufgetriebene oder unaufgetriebene Nagelung und Thoraxtrauma, Zeitpunkt der Versorgung oder Damage-Control-Techniken, auf pulmonale Komplikationen, intensivmedizinische Behandlungsdauer, Gesamtbehandlungszeit im Krankenhaus und/oder Mortalität sind in einer Vielzahl unterschiedlicher Studien untersucht worden.

Bone et al. [6] führten eine prospektive, randomisierte Studie zur frühen intramedullären Versorgung versus einer verzögerten Versorgung bei schwerverletzten Pa-

tienten (ISS > 18) durch. Die Autoren fanden keinen Unterschied im Auftreten pulmonaler Komplikationen bei isolierten Femurfrakturen, unabhängig davon, ob diese innerhalb von 24 Stunden oder nach 24 Stunden und später versorgt wurden. Allerdings fand sich ein signifikant höherer Anteil an ARDS bei Patienten, die verzögert operiert wurden. Frühoperierte Patienten benötigten weniger Beatmungstage (1,4 vs. 9,9 Tage) [6].

Seibel et al. [66] fanden ähnliche Ergebnisse. Sie zeigten, dass Patienten, die innerhalb von 24 Stunden definitiv versorgt wurden, weniger Beatmungstage (3,4 Tage verglichen mit 9,4 Tagen in der Gruppe, die verzögert versorgt wurde) sowie kürzere Intensiv- (7,5 versus 15 Tage) und Krankenhausaufenthaltstage (23 versus 45 Tage) aufwiesen [66]. Johnson et al. [30] fanden eine 5-fach höhere Inzidenz eines ARDS bei Patienten mit einem ISS über 18 und verzögerter Versorgung, verglichen mit Patienten, die innerhalb von 24 Stunden operiert wurden. Bei einem ISS über 40 trat ein ARDS bei 75 % der Patienten mit verzögerter Versorgung auf, verglichen mit 17 % in der frühzeitig operierten Gruppe.

Femorales Aufbohren wurde als Ursache pulmonaler Komplikationen besonders bei Patienten mit Lungenkontusionen genannt. Die Mechanismen, durch die das Aufbohren eine pulmonale Dysfunktion bedingt, sind multifaktoriell: zum einen durch das Ausschwemmen von Fettemboli in die Lungenstrombahn, zum anderen durch Stimulierung einer systemischen inflammatorischen Reaktion (Second Hit) [19], [53], [55]. Im Schafmodell konnten eine gesteigerte pulmonale kapilläre Permeabilität und eine gesteigerte Aktivierung polymorphkerniger Zellen bei aufgebohrter Technik und gleichzeitig vorliegenden Lungenkontusionen nachgewiesen werden. Dies spricht für eine inflammatorische Antwort auf die Aufbohrung als Ursache für das ARDS [25].

Eine große retrospektive Studie von Pape et al. [51] untersuchte die Auswirkung der frühen intramedullären Versorgung gegenüber der verzögerten bei Patienten mit und ohne Thoraxtrauma. Jene Patienten ohne zusätzliches Thoraxtrauma profitierten von der frühzeitigen Versorgung in Form von kürzeren Behandlungstagen auf der Intensivstation und weniger Beatmungstagen. Patienten mit Thoraxtrauma (AIS > 2) hatten eine höhere Inzidenz an ARDS (33 % vs. 7,7 %) und höhere Mortalität (21 % vs. 4 %) [51].

Auf der anderen Seite haben vielfach Studien gezeigt, dass die frühzeitige Versorgung von Femurschaftfrakturen (< 24 h) – trotz Thoraxtrauma – nicht zu einem erhöhten Risiko für das Auftreten eines ARDS führt, wenn der Patient stabil ist. Bosse et al. [7] fanden keine Unterschiede in Auftreten eines ARDS, Behandlungsdauer, Beatmungstagen, Auftreten einer Pneumonie oder eines MOV bei Patienten mit Thoraxtrauma, die innerhalb von 24 Stunden mittels Nagelung oder Plattenosteosynthese versorgt worden waren. Er nahm dies als Hinweis dafür, dass das Aufbohren nicht als verantwortlicher Faktor für pulmonale Komplikationen bei Patienten mit femoraler

Fixierung zu werten ist [7]. Eine Studie von Handolin et al. und eine neuere Studie der Kanadischen Orthopädischen Traumagesellschaft (Canadian Orthopaedic Trauma Society) konnten diese Ergebnisse bestätigen [10], [21].

Die intramedulläre Marknagelung mehrerer langer Röhrenknochen kann auch einen additiven Effekt hervorrufen, der zu einem gesteigerten Risiko pulmonaler Komplikationen vor allem bei Patienten mit gleichzeitig vorliegendem Thoraxtrauma führen kann. Zalavras et al. [76] untersuchten in einer prospektiven Studie Patienten mit uni- und bilateraler Femurfraktur und kamen zu dem Schluss, dass mehrfaches intramedulläres Aufbohren und Thoraxtrauma unabhängige Risikofaktoren für das Auftreten pulmonaler Komplikationen waren. Spezielle Bohrer, die das freigesetzte intramedulläre Material aspirieren, mögen in diesen Situationen helfen, die Rate embolischer Belastung zu senken. Pulmonale Permeabilität, Aktivierung polymorphkerniger Zellen wie auch die Menge ausgeschwemmter Fettemboli konnten – verglichen mit herkömmlichen Bohren – im Tiermodell herabgesetzt werden [31], [57], [65].

Pape et al. [54] analysierten die Daten von drei verschiedenen Zeitabschnitten, in denen schwerverletzte Patienten mit Femurschaftfrakturen unterschiedlich behandelt worden waren. Die drei Gruppen wurden dem Prinzip des Early Total Care (ETC) folgend innerhalb von 24 Stunden intramedullär stabilisiert oder i. S. einer intermediären Versorgung teils intramedullär, teils mittels Fixateur externe oder aber nach den Prinzipien des DCO (primärer Fixateur, definitive Versorgung verzögert) versorgt. Es fand sich eine signifikante Reduktion hinsichtlich MOV und ARDS bei Patienten, die initial mit Fixateur behandelt wurden, verglichen mit jenen, die primär intramedullär stabilisiert worden waren. Allerdings räumten die Autoren ein, dass aufgrund des langen Untersuchungszeitraums auch Fortschritte in der intensivmedizinischen Behandlung solcher Patienten zu einer Verunreinigung der Ergebnisse geführt haben könnte. Zumindest wiesen die Patienten der DCO-Gruppe keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Komplikationsrate auf, verglichen mit jenen Patienten mit Marknagelung – trotz höherem ISS in der DCO-Gruppe [54].

Diese Ergebnisse korrelieren mit einer prospektiven Untersuchung derselben Arbeitsgruppe, in der die Spiegel inflammatorischer Marker und die Festlegung des OP-Zeitpunkts nach primärem DCO-Prozedere untersucht wurden. Patienten, die eine definitive Versorgung an Tag 2–4 erhielten, hatten eine höhere Inzidenz an MOV und ARDS, als jene, die an Tag 5–8 sekundär versorgt wurden. Dabei zeigte sich die Kombination von IL-6-Spiegeln über 500 pg/dl bei Aufnahme und definitiver Versorgung zwischen Tag 2 und 4 als stark assoziiert mit dem Auftreten eines MOV [56]. In einer Untersuchung von Brundage et al. fand sich die höchste Rate von ARDS bei Patienten, die mittels Marknagelung zwischen Tag 2 und 5 versorgt worden waren [8].

1.4.5 Scoring-Systeme

Es wurden verschiedene Scoring-Systeme entwickelt, um eine Abschätzung der Ergebnisse bei schwerverletzten Patienten vornehmen zu können. Der Injury Severity Score (ISS) stellt ein solches Messinstrument dar. Der ISS wurde durch den New Injury Severity Score (NISS) hinsichtlich der Prädiktivität eines MOV, einer Sepsis und des intensivmedizinischen Aufenthalts verbessert [3], [23], [49]. Der NISS wertet hierbei die drei schwersten Verletzungen (Appreviated Injury Scale – AIS) unabhängig von der Körperregion. Dabei korreliert ein NISS von 20 Punkten mit einem ISS von 16 Punkten. Ein NISS von 30 entspricht also einem ISS von 25 und ein NISS von 55 einem ISS von 50 [23].

Kilgo et al. [35] vereinfachten die Prädiktion des späteren Ergebnisses durch den AIS_{max}. Dieser entspricht dem höchsten AIS-Wert und war in der Untersuchung der Autoren prädiktiver hinsichtlich Mortalität bei schwerverletzten Patienten als der ISS oder der NISS [35]. Harwood et al. [23] bestätigten die Ergebnisse und fanden den AIS_{max} bei Patienten mit isoliertem penetrierendem Trauma als einen besseren Prädiktor für Mortalität.

Wie bereits beschrieben kann der SIRS-Score (S.33) als Prädiktor für das Ergebnis bei Traumapatienten herangezogen werden. Napolitano et al. [45] zeigten, dass ein SIRS-Score > 2 mit einer höheren Mortalitätsrate (6,9% verglichen mit 1,1%) und einem verlängerten Krankenhausaufenthalt assoziiert war.

Fazit



Die Ergebnisse schwerverletzter Patienten sind abhängig von vielen Variablen. Letztendlich bleibt der Schlüssel zum Erfolg bei der Behandlung schwerverletzter Patienten das Verständnis der komplexen Interaktion von lokalen und systemischen inflammatorischen Prozessen bei intrakraniellen und thorakalen Verletzungen, sowie das Erkennen der Gefahr einer Verschlimmerung dieser Kette durch (unfall-)chirurgische Intervention zu einem zu frühen bzw. falschen Zeitpunkt. Neben der Erfahrung eines jeden einzelnen (Unfall-)Chirurgen bleiben zur Beurteilung der Gesamtsituation und des Verlaufs eine Vielzahl klinischer und laborchemischer Marker, um mit dem Trauma-Team den optimalen Zeitpunkt und die Art der Versorgung terminieren zu können, ohne den Patienten hierdurch weiter zu schädigen.

1.4.6 Spezialfälle

Instabiler Thorax

Das Thoraxtrauma hat einen großen Anteil an der Morbidität und Mortalität schwerverletzter Patienten. Der instabile Thorax ist mit Mortalitätsraten bis zu 33% nach stumpfem Thoraxtrauma vergesellschaftet. Verlängerte Beatmungsdauern sind wiederum assoziiert mit dem Auftreten von Pneumonien und verlängerter Aufenthaltsdauern. Neuere Studien zeigten, dass eine Stabilisierung von Rippenfrakturen beim instabilen Thorax zu einem verbesserten Outcome führen kann. Schon seit den 1950er Jahren stehen hierzu die Verplattung sowie intramedulläre Verfahren zur Verfügung. Diese Techniken sind jedoch bis vor kurzem mit dem Aufkommen der Überdruckbeatmung in den Hintergrund getreten [15].

Zur operativen Stabilisierung von Rippenfrakturen sind in den letzten Jahren anatomisch geformte winkelstabile Platten und intramedulläre Implantate auf den Markt gekommen. Einige Studien konnten zeigen, dass Patienten mit mehr als vier Rippenfrakturen von einer operativen Stabilisierung profitieren. Diese Patienten wiesen eine verminderte Beatmungsdauer, kürzere Aufenthalte auf der Intensivstation und eine geringere Inzidenz der Pneumonie auf [1], [15], [37].

Eine kürzlich veröffentlichte Metaanalyse inkludierte neun kontrollierte Studien mit einer gesamten Patientenzahl von 538. Diese Metaanalyse schlussfolgerte, dass die operative Stabilisierung von Rippenfrakturen bei Patienten mit instabilem Thorax zu einer Verringerung der Beatmungsdauer (–4,52 Tage), des Intensivaufenthalts (–3,40 Tage), des Krankenhausaufenthalts (–3,82 Tage), der Mortalitätsrate und der Rate an Pneumonien führt [39]. Die Komplikationsrate der operativen Stabilisierung von Rippenfrakturen ist niedrig und ein Osteosynthesversagen selten. Nichtsdestotrotz fehlen bis dato große, prospektiv randomisierte Studien. Daher wird die Notwendigkeit dieses Verfahrens bisweilen kontrovers diskutiert.

Übergewicht

Krankhaft übergewichtige Patienten (BMI > 30) stellen den Chirurgen vor eine große Herausforderung. Diese Patienten haben häufiger Begleiterkrankungen kardialer Genese, Diabetes mellitus und arterielle Hypertonie. Eine retrospektive Studie aus dem deutschen Traumaregister [28] an 5766 Patienten mit einem BMI von > 30 zeigte, dass diese Patientengruppe verglichen mit Normalgewichtigen doppelt so viele Komplikationen erlitt. Auch die Beatmungsdauer und die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation zeigten eine positive Korrelation mit einem steigenden BMI [42]. Eine weitere Studie zeigte bei übergewichtigen Patienten zwar eine vergleichbare Komplikationsrate, jedoch eine um das Doppelte erhöhte Mortalitätsrate, vor allem zurückzuführen auf das MOV [47]. Auch die Operationszeit und die Rate an Wundinfektio-

nen sind im adipösen Kollektiv erhöht. Dies kann wiederum zu Komplikationen und längerer Aufenthaltsdauer führen [33], [60].

Geriatrischer Patient

Während das geriatrische Patientenkollektiv schon bei isolierten Niedrigrasanztraumen eine besondere Herausforderung darstellt, erhöht sich diese Komplexität bei geriatrischen Mehrfachverletzten. In der Regel wird ein Patient > 65 Jahre als geriatrisch angesehen. Vorangegangene Studien konnten jedoch zeigen, dass die Mortalität schwerverletzter Patienten schon ab dem 56. Lebensjahr ansteigt. Dies gilt unabhängig von ISS und den Begleiterkrankungen der Patienten [20], [36]. Perdue et al. zeigten bei geriatrischen Patienten (> 65 Jahre) adjustiert für ISS und Begleiterkrankungen eine 2,5-fach erhöhte Mortalität innerhalb der ersten 24 Stunden nach Aufnahme [58]. Zudem hatte der geriatrische Patient im Verlauf verglichen mit dem jüngeren Kollektiv ein 4,6-fach erhöhtes Risiko nach den ersten 24 Stunden zu versterben.

1.4.7 Fallbeispiele

Fall 1

Ein 21 Jahre alter Mann verunfallte um 3 Uhr nachts im Straßenverkehr. Die initiale Untersuchung im Schockraum zeigte folgende Verletzungen: kleines subdurales Hämatom, komplexe Mittelgesichtsfraktur, geschlossene subtrochantäre Femurfraktur links, komplexe Tibiotalar- und Kalkaneusfraktur links mit ca. 6 cm langer Weichteilwunde plantar. Ferner fand sich eine 4 cm lange, II° offene Tibiafraktur rechts (► Abb. 1.5).

Zunächst erfolgten Volumensubstitution des Patienten, Erwärmung, Intubation und Sedierung. Das Labor des Patienten zu verschiedenen Zeitpunkten wird in ► Tab. 1.3 wiedergegeben. Anhand der Werte muss von einer Koagulopathie und einer unzureichenden Stabilisierung ausgegangen werden.

Die Schwere der Verletzung der linken unteren Extremität wird bei Betrachtung der Dislokation und der begleitenden Weichteilverletzung (Muskel, Sehne, Nerv) sowie der plantaren Wunde mit der dort freiliegenden tibialen Gelenkfläche deutlich. Aufgrund der Schwere der Verletzung der linken unteren Extremität wurden die Stabilisierung und das Weichteildébridement innerhalb der nächsten Stunden geplant. Nach Rücksprache mit der Allgemeinchirurgie und Anästhesie war eine zeitlich begrenzte operative Intervention mit dem Ziel des Débridements der offenen Verletzung sowie einer möglichen Marknagelung der rechten Tibia und der Reposition des linken Tibiaschafts vorgesehen.

Aufgrund der jedoch noch bestehenden Instabilität des Patienten war eine Versorgung der linken proximalen Femurfraktur in dieser ersten Behandlungsphase nicht geplant. Diese sollte erst nach Stabilisierung nach 24 Stunden erfolgen, ggf. mit der definitiven Versorgung der linken Tibia. Für den Fall einer signifikanten klinischen Verschlechterung des Patienten im OP war das unverzügliche Umsteigen mittels DCO – mit externer Fixierung aller Verletzungen – vorbereitet.

Die initiale operative Versorgung dauerte zwei Stunden (Beginn 7:30 Uhr). Hierbei wurde Folgendes durchgeführt (► Abb. 1.5g, ► Abb. 1.5f, ► Abb. 1.5e):

- Débridement und Spülung der rechten tibialen Wunde
- Marknagelung der rechten Tibiafraktur
- Débridement und Spülung der Plantarwunde links
- offene Reposition der Tibiaschaftfraktur links
- Gipsruhigstellung der linken unteren Extremität

Die Versorgung der links- und rechtsseitigen unteren Extremitätenfrakturen erfolgte zeitgleich durch zwei chirurgische Teams. Die proximale Femurfraktur blieb zunächst unversorgt. Auch wenn eine externe gelenküberbrückende Fixation eine Option gewesen wäre, erfolgte keine Fixateur-externe-Ruhigstellung der linksseitigen Unterschenkelfraktur, da dies aufgrund der begleitenden Kalkaneus- und Talusfraktur nicht möglich war.

Tab. 1.3 Fall1: Laborwerte des Patienten im zeitlichen Verlauf.

Parameter	Normwert	Uhrzeit			
		03:00	05:00	07:00	11:40
Hämatokrit (%)	42–50	36	27	23	30
Thrombozyten ($10^6/L$)	135–370	223	144	121	91
Thromboplastinzeit (s)	13–15	-	-	21,5	16,7
PTT (s)	25–34	-	-	35	30,3
Kalzium (mg/dl)	8,5–10,5	-	-	5,0	7,6
pH	7,35–7,45	-	7,20	7,25	7,28
Laktat (mEq/L)	0,5–2,2	-	2,8	2,1	3,4



Abb. 1.5 Fall 1. Beispiel komplexer traumatologischer Verletzungen bei einem polytraumatisierten Patienten.

a Röntgenaufnahme der linken unteren Extremität in zwei Ebenen.

b A.-p. Röntgenaufnahme der linken Hüfte.

c Röntgenaufnahme der rechten Tibia in zwei Ebenen.

d Offene Frakturen der Unterschenkel beidseits.

e Intraoperativer Situs nach Reposition der Tibiaschaftfraktur links, die sich durch Sprunggelenk, Talus und Kalkaneus gebohrt hatte. Um dies zu erreichen, wurde ein Distraktor zwischen intaktem Talus und Tibiaschaft angebracht. Zusätzlich erfolgte eine Inzision über dem Sprunggelenk anteriomedial zur Wiederherstellung des Alignments.

Fortsetzung ►



Abb. 1.5 Fortsetzung; Fall 1. Beispiel komplexer traumatologischer Verletzungen bei einem polytraumatisierten Patienten.

f A.-p. und seitliches Röntgenbild des linken Unterschenkels nach Reposition und Schienung des Tibiaschafts.

g Versorgung mit Tibiamarknagel rechts.

h Plattenosteosynthese der Femurfraktur.

i Versorgung der linken Tibia mit Marknagel links und Plattenosteosynthese der Innenknöchelfraktur.

j CT-Rekonstruktion des Talus und Kalkaneus. Die Versorgung der Talus- und Kalkaneusfraktur erfolgte nach Abschwellung und Weichteilkonsolidierung 1,5–2 Wochen später.

Während des operativen Eingriffs erhielt der Patient, angepasst an seinen Flüssigkeitsbedarf sowie das Gerinnungslabor, Fresh Frozen Plasma, Erythrozytenkonzentrate, Thrombozytenkonzentrate und Kalzium i.v. Im Anschluss an die operative Versorgung wies der Patient weiterhin einen hohen Volumenbedarf auf. Die postoperativen Laborparameter zeigten einen anhaltenden Substitutionsbedarf an, der Patient war aber zu keinem Zeitpunkt einem wirklichen Risiko ausgesetzt. Wäre es intraoperativ zu einer dramatischen Verschlechterung des Zustands des Patienten gekommen, hätte eine Amputation unterhalb des Knies erwogen werden müssen.

Während der folgenden 18 Stunden stabilisierte sich der Patient, und die initial entstandene Koagulopathie und Azidose verbesserten sich. Daraufhin wurde der Patient – wie geplant – am ersten postoperativen Tag in den OP verbracht, und es erfolgten erneut Wunddébridement und Spülen der plantaren Wunde links, eine offene Reposition und externe Fixation der linksseitigen subtrochantären Femurfraktur sowie eine provisorische Fixierung der Malleolus-medialis-Fraktur und Schienung der linksseitigen Unterschenkelfraktur (► Abb. 1.5i, ► Abb. 1.5h).

In den folgenden drei Tagen stabilisierte sich der Patient weiter, sodass am siebten postoperativen Tag die komplexen Mittelgesichtsfrakturen versorgt werden konnten. Die definitive Versorgung des Sprunggelenks, der Talus- und Kalkaneusfrakturen wurde auf den 15. postoperativen Tag verschoben, um dem Patienten Gelegenheit zu geben sich vom initialen Trauma zu erholen und die Weichteile an der unteren Extremität abschwellen zu lassen (► Abb. 1.5j).

Fall 2

Ein 34 Jahre alter Motorradfahrer wurde mit beidseitigen Femurschaftfrakturen eingeliefert. Weitere Verletzungen fanden sich nicht. Neben einer anamnestischen fibrösen Dysplasie von rechtem Becken und rechtem Femur ergaben sich keine weiteren Vorerkrankungen. Im Kindesalter hatte der Patient aufgrund einer Femurfraktur bereits eine Versorgung mittels Marknagel erhalten. Weitere Details waren dem Patienten nicht bekannt.

Der Patient war wach und ansprechbar und beschrieb sich selbst als gesund. Trotzdem fiel dem Anästhesisten ein lautes Herzgeräusch auf, woraufhin der Patient sich erinnerte einen Ventrikelseptumdefekt (VSD) zu haben, welcher ursprünglich operiert werden sollte. Bei der weiteren Untersuchung war der Patient wach, ansprechbar und kardiopulmonal stabil.

Es fand sich ein stabiler, aber knöchern deformierter rechter Oberschenkel (► Abb. 1.6a), wohingegen das linke Femur klinisch instabil war. Die nativ radiologischen Aufnahmen zeigten Femurfrakturen beidseits und knöcherne Auffälligkeiten des rechten Femurs und der rechten Beckenhälfte sowie einen umgebogenen Nagel im rechten Femur (► Abb. 1.6c, ► Abb. 1.6b).

Aufgrund der Gefahr einer intrazerebralen Fettembolie bei vorliegendem Ventrikelseptumdefekt wurde die intramedulläre Versorgung der Femurfraktur als zu risikoreich eingestuft und die bilateralen Femurfrakturen dementsprechend mittels Plattenosteosynthese versorgt; der verbogene Nagel musste durchtrennt und in zwei Teilen entfernt werden (► Abb. 1.6e, ► Abb. 1.6d). Der Verschluss des Ventrikelseptumdefekts erfolgte elektiv zu einem späteren Zeitpunkt.

Fall 3

Anhand dieses Fallbeispiels soll illustriert werden, inwiefern die generelle Verletzungsschwere des Patienten die unfallchirurgische Entscheidung hinsichtlich Amputation oder Extremitätenerhalt beeinflussen kann. Es handelt sich um einen gesunden, 21 Jahre alten Mann, der beim Wasserski verunfallte und sich eine ausgedehnte Weichteilverletzung an der Schiffschraube des Motorboots zuzog (► Abb. 1.7b, ► Abb. 1.7a).

Bereits am Unfallort hatte der Patient einen beachtlichen Blutverlust. Nach Ankunft im Schockraum wurde dem Patienten zunächst ein provisorisches Tourniquet angelegt. Unter fortlaufender Volumensubstitution und Erwärmung des Patienten konnte er zunächst mit einem Blutdruck von 100/70 mmHg stabilisiert werden. Als Laborwerte zeigten sich ein Hämatokrit von 25 %, eine Prothrombinzeit von 22,7 s und ein Laktatwert von 0,7 mmol/l. Daraufhin wurde dem Patient zunächst Fresh Frozen Plasma substituiert, da die Gesamtsituation im Labor auf eine Koagulopathie hinwies. Er war jedoch ansonsten stabil ohne weitere Verletzungen und wies einen Blutdruck von 110/70 mmHg auf.

Der Patient wurde anschließend notfallmäßig in den OP verbracht, wo ein Débridement der ausgedehnten Weichteilverletzung erfolgen sollte. Die A. fibularis wurde ligiert, nachdem sich diese als Ursache des hohen Blutverlusts zeigte. Der N. tibialis war intakt (► Abb. 1.7c). Die Achillessehne war zu 90 % durchtrennt, die Peronealsehne (M. peroneus longus) zu 100 %. Beide erschienen zunächst rekonstruierbar. Das Operationsteam setzte sich aus einem Unfallchirurgen und einem plastischen Chirurgen zusammen, der Allgemeinchirurg überwachte die notfallmäßige Versorgung. Der Patient erhielt zunächst einen provisorischen Wundverschluss und eine Ruhigstellung mittels Schiene.

Am zweiten und am vierten postoperativen Tag erfolgten ein Débridement und Spülen der Wunden, am vierten postoperativen Tag außerdem eine Osteosynthese der Fibula (► Abb. 1.7d), der definitive Wundverschluss der Oberschenkelwunde sowie ein weitgehender Wundverschluss im Bereich des Unterschenkels. Wo dies aufgrund zu großer Weichteilspannung nicht möglich war, wurde eine Vakuumversiegelung angelegt, um die Areale hier später mit Spalthaut zu decken.

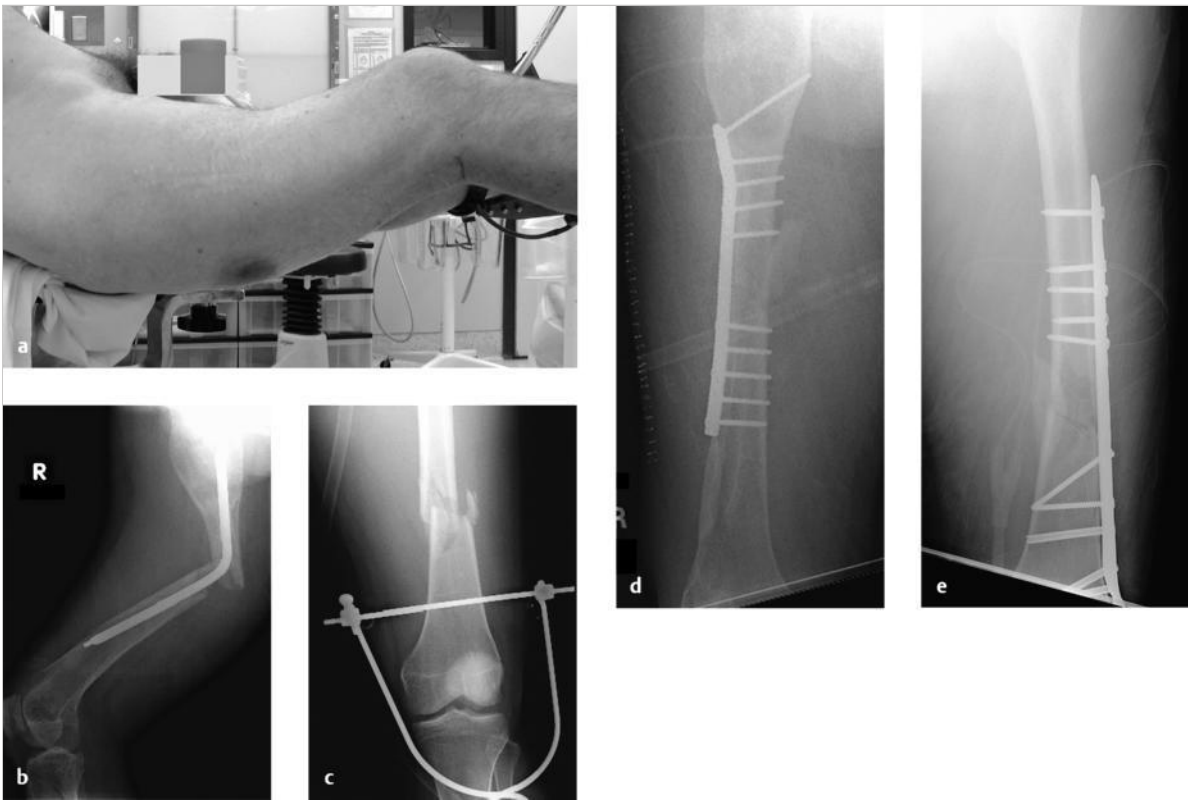


Abb. 1.6 Fall 2.

- a Klinischer Befund mit sichtbarer, stabiler Deformierung des rechten Oberschenkels.
- b Laterales Röntgenbild des rechten Femurs mit einliegendem Marknagel nach Operation in der Kindheit und auffälliger Knochenkonsistenz mit fibröser Dysplasie.
- c Distraction der Femurfraktur links.
- d Postoperative Aufnahme des rechten Femurs.
- e Postoperative Aufnahme des linken Femurs.

Wie in ► Abb. 1.7e erkennbar konnte der vollständige Weichteilverschluss, wenngleich ästhetisch nicht perfekt, erreicht werden. Anhand dieses Falles kann verdeutlicht werden, inwieweit die Entscheidung der initialen Amputation bei fehlender Gesamtverletzungsschwere nicht getroffen werden musste. Anders verhält es sich selbstverständlich, wenn entweder gleichzeitig vorliegende schwere Verletzungen eine langdauernde Rekonstruktion verbieten („life before limb“) oder es aufgrund von Nervenschädigungen zu keiner zu erwartenden Funktionsfähigkeit der betroffenen Extremität mehr kommen kann.

Fall 4

Ein 26-jähriger Patient, der als behelmter Fahrer bei einem Motorradunfall verunglückte, wurde initial luftgebunden mit dem Rettungshubschrauber in die aufnehmende Klinik transportiert. Der Patient war wach und ansprechbar mit einer GCS von 14 Punkten. Außer Nikotinkonsum fanden sich keine Besonderheiten in der

Anamnese. Klinisch ergab sich eine deutliche Deformität im Bereich der unteren Extremitäten beidseits mit Weichteilverletzung über dem rechten und linken Oberschenkel. Der Patient war kardiopulmonal stabil.

Die ersten laborchemischen Parameter konnten aufgrund einer Hämolyse nicht erhoben werden. Aufgrund von Problemen bei der Blutabnahme konnte kein weiteres Blut zur weiteren Analyse gewonnen werden, darüber hinaus kam es noch zu einer Dislokation des i. v. Zugangs. Die durchgeführte Computertomografie von Kopf, Thorax, Wirbelsäule, Abdomen und Becken war ohne Nachweis einer Fraktur oder freier Flüssigkeit. Nativradiologisch fanden sich eine Schenkelhalsfraktur rechts, eine Femurschaftfraktur rechts, eine suprakondyläre Femurfraktur links, eine dislozierte Klavikulafraktur rechts sowie eine distale Radiusfraktur links (► Abb. 1.8). Die Weichteilverletzungen wurden zunächst steril abgedeckt und die distale Radiusfraktur mit einer Gipsschiene stabilisiert.



Abb. 1.7 Fall 3. Schwere Weichteilverletzungen bei einem 21-jährigen Patienten, nachdem dieser in die Schiffsschraube eines Motorboots geraten war. Da es sich um eine isolierte Verletzung handelte, war eine Amputation nicht notwendig und es konnte eine Weichteilrekonstruktion mit vier operativen Eingriffen innerhalb von zehn Tagen erfolgen. Eine solch komplexe Versorgung wäre bei einem polytraumatisierten Patienten nicht möglich gewesen. In diesem Fall wäre eine anderweitige Therapie für dieselbe Verletzung notwendig gewesen.

- a** Ausgedehnte Weichteilverletzung des rechten dorsalen Unterschenkels und des dorsolateralen Oberschenkels.
- b** A.-p. Aufnahme der knöchernen Verletzung am rechten Bein. Die Tibia ist nicht frakturiert.
- c** Der N. tibialis ist intakt (Pfeil).
- d** Intraoperatives Foto der Fibulastückfraktur, die an Tag 4 mit einer Plattenosteosynthese versorgt wurde. Zeitgleich erfolgte die Naht der Achilles- und Peronealsehne.
- e** Wundverschluss mit Spalthaut an Tag 10.



Abb. 1.8 Fall 4.

- a Präoperative Röntgenaufnahme der Schenkelhalsfraktur rechts.
- b Präoperative Röntgenaufnahme der Femurschaftfraktur rechts.
- c Präoperative Röntgenaufnahme der Femurschaftfraktur links.
- d Präoperative Röntgenaufnahme der distalen Radiusfraktur links.
- e Präoperative Röntgenaufnahme der dislozierten Klavikulafraktur rechts.
- f A.-p. Aufnahmen nach Stabilisierung der Femurschaftfrakturen mit Fixateur externe. Rechtes Bein.
- g A.-p. Aufnahmen nach Stabilisierung der Femurschaftfrakturen mit Fixateur externe. Linkes Bein.

Fortsetzung ►



Abb.1.8 Fortsetzung; Fall 4.

h Postoperative a.-p. Aufnahme des Beckens nach definitiver Versorgung mit retrograd eingebrachten Femurmarknägeln und Schraubenosteosynthese der Schenkelhalsfraktur.

i A.-p. und seitliche Aufnahme des rechten Femurs.

j A.-p. Aufnahme des linken Femurs.

k A.-p. und seitliche Aufnahme des rechten Handgelenks mit Versorgung der Radiusfraktur mit palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese.

l A.-p. Aufnahme der Klavikulafraktur rechts mit Rekonstruktionsplattenosteosynthese.

Bei hämodynamischer Stabilität wurde der Patient für die operative Versorgung vorbereitet. Ein i.v. Zugang wurde neu gelegt und Volumen entsprechend substituiert. Der Patient blieb im weiteren Verlauf trotz Blutung im Bereich der bilateralen Femurschaftfraktur kompensiert. Es wurde die Entscheidung getroffen, zunächst ein Débridement der beiden Weichteilwunden und ggf. die offene Reposition und innere Fixation des rechten Schenkelhalses sowie ggf. die retrograde Nagelung beider Femora durchzuführen. Die Versorgung der Fraktur im Be-

reich des distalen Radius sollte im Intervall erfolgen. Bei noch nicht vorliegenden Laborwerten wurde vereinbart, das operative Procedere den folgenden Laborwerten anzupassen.

Bei Anästhesieeinleitung wurde der Patient hypotensiv und wies einen plötzlichen Sättigungsabfall auf. Nach Gabe eines Vasopressors stieg der Druck wieder an. Im nun erhaltenen Labor zeigte sich ein Kalium von 7,0 mmol/l. In Anbetracht der Hypotension, des erhöhten Kaliums sowie des unklaren Sättigungsabfalls entschloss

man sich nach dem Prinzip DCO (Damage Control Orthopedics) keine definitive Versorgung der Frakturen vorzunehmen, sondern zunächst die Fixateur-externe-Anlage durchzuführen (► Abb. 1.8g, ► Abb. 1.8f). Im folgenden Labor zeigten sich ein Laktatwert von 4,7 mmol/l sowie ein Hämatokrit von 32.

Der Patient wurde auf die unfallchirurgische Intensivstation verbracht, wo die Katecholamine über Nacht ausgeschlichen werden konnten – das Laktat war am ersten Tag postoperativ auf 1,4 mmol/l gefallen. Der Patient war über Nacht hämodynamisch stabil, sodass die Entscheidung getroffen wurde, die Schenkelhalsfraktur mittels Schraubenosteosynthese zu versorgen. Falls dieser Eingriff intraoperativ vom Patienten toleriert würde, sollte ebenfalls die retrograde Nagelung der bilateralen Femurfrakturen in derselben Sitzung erfolgen. Die Schraubenosteosynthese der Schenkelhalsfraktur war problemlos möglich. Die Laborwerte waren normal mit einem Laktat von 0,8 mmol/l und einem Hämatokrit von 40, der Patient selbst vital stabil. Die bilaterale Femurnagelung erfolgte aufgeböhrt unter Verwendung eines speziellen Bohrers, um das Risiko einer Fettembolie zu verringern. Obwohl der Patient während des gesamten Eingriffs kardiopulmonal und anästhesiologisch keine Probleme aufwies, entschied man sich, die distale Radiusfraktur links sowie die Klavikulafraktur rechts im weiteren Verlauf nach dieser zweiten Operation zu versorgen. Nach definitiver Versorgung der Radius- sowie der Klavikulafraktur konnte der Patient zwei Tage nach dem letzten Eingriff extubiert werden.

Der vorliegende Fall soll die Wichtigkeit des präoperativen Labors hervorheben – der Patient hatte mit hoher Wahrscheinlichkeit einen signifikanten Blutverlust aufgrund der beidseitigen Femurfrakturen und wurde im Schockraum aufgrund der fehlenden Zugänge nicht ausreichend mit Volumen substituiert – sowie die Bereitschaft das operative Procedere kurzfristig zu ändern und, wie in diesem Fall, von der definitiven Frakturstabilisierung zunächst auf externe Fixation im Sinne des DCO umzusteigen.

Fall 5

Eine 31-jährige Frau wurde als angeschnallte Fahrerin bei einem Pkw-Unfall mit Überschlag verletzt. Die medizinische Anamnese zeigte keine Auffälligkeiten, die Medikamentenanamnese war leer. Die Patientin wird vom Rettungsdienst wach und ansprechbar mit einem GCS von 15 Punkten eingeliefert. Es zeigte sich eine deutliche Deformität beider unterer Extremitäten mit ausgeprägter Weichteilverletzung über dem rechten Knie und der rechten Tibia sowie einer kleineren, ca. 2 cm messenden Wunde über dem linken Femur. Kardiopulmonal war die Patientin stabil, der Blutdruck betrug 130/80 mmHg, der Puls 110–120/min und die O₂-Sättigung unter Raumluft 99%.

Die Laborwerte zeigten einen niedrigen Hämatokrit mit 19 Punkten und 171 000 Thrombozyten. Die Gerinnungsparameter waren normal, der Laktatwert betrug 1,5 mmol/l. Die CT-Untersuchung von Kopf, Thorax, Wirbelsäule, Abdomen und Becken war bis auf die rechtsseitige Schenkelhalsfraktur ohne Nachweis weiterer Frakturen. Freie Flüssigkeit fand sich nicht. Nativradiologisch zeigten sich eine dislozierte Schenkelhalsfraktur rechts, eine Femurschaftfraktur rechts, eine Tibiaschaftfraktur rechts und eine Femurschaftfraktur links (► Abb. 1.9).

Man entschied sich, die Patientin zu transfundieren, da durch das Débridement der offenen Frakturen ein Blutverlust erwartet wurde. Die Entscheidung der operativen Versorgung nach DCO-Konzept oder ggf. auch definitiver Frakturversorgung sollte intraoperativ in Abhängigkeit von der kardiopulmonalen Situation erfolgen. Wenn möglich sollte nach Débridement der rechtsseitigen Wunde zunächst eine Marknagelung der Tibiafraktur erfolgen, um anschließend die Schenkelhalsfraktur durch Zug reponieren zu können. Daran sollte sich die offene Reposition und Schraubenosteosynthese der Schenkelhalsfraktur anschließen, gefolgt von einer retrograden Marknagelung des rechten Femurs. Im Anschluss war die Versorgung des Weichteilschadens als definitiver Eingriff auf der rechten Seite, gefolgt von einer Versorgung auf der linken Seite mittels anterograd eingeführtem Femurnagel geplant.

Vor OP-Beginn wurde mit der Anästhesie vereinbart, regelmäßige (Intervalle von 30–60 min) Laborkontrollen durchzuführen, um frühzeitig Zeichen der Dekompensation erkennen zu können und dementsprechend auf ein Damage-Control-orientiertes Vorgehen umsteigen zu können. Die Narkoseeinleitung verlief ohne Komplikationen. Der Hämatokrit war stabil zwischen 28 und 31, alle übrigen Vitalparameter zeigten keine Auffälligkeiten. Nach jedem der genannten Operationsschritte wurde interdisziplinär mit den Kollegen der Anästhesie besprochen, ob eine Fortführung der Operation möglich sei. Alle geplanten Operationen konnten während der Sitzung durchgeführt werden. Nach Abschluss der unfallchirurgischen Versorgung war die Patientin weiterhin stabil ohne Zeichen der physiologischen Dekompensation. Abschließend wurde der Patientin, nun durch die Abteilung für Gefäßchirurgie, ein Vena-cava-Filter platziert.

Aufgrund der langen OP-Zeit sowie der Volumengabe blieb die Patientin intubiert, konnte allerdings bei unauffälligem weiterem Verlauf 24 Stunden postoperativ ohne Probleme extubiert werden. Am fünften postoperativen Tag konnte die Patientin bereits aus dem Krankenhaus entlassen werden.

Der hier vorgelegte Fall soll verdeutlichen, inwieweit die Kommunikation zwischen den an der Versorgung beteiligten Fachdisziplinen hilft, das Risiko zu minimieren. Sowohl die engmaschigen Laborkontrollen als auch die zeitnahe Diskussion und Reevaluation der Patientin nach jedem einzelnen unfallchirurgischen Eingriff/Schritt ha-



Abb. 1.9 Fallbeispiel 5.

- a** Die a.-p. Aufnahme des rechten Femurs zeigt die Schenkelhals- und ipsilaterale Femurschaftfraktur.
- b** Aufnahme des linken Femurs mit einer offenen Femurschaftfraktur Typ II.
- c** Offene Tibiaschaftfraktur vom Typ IIIa.
- d** Schraubenosteosynthese nach offener Reposition und innerer Fixation der Schenkelhalsfraktur.
- e** Rechtes Femur nach Versorgung mit retrogradem Marknagel.

Fortsetzung ►

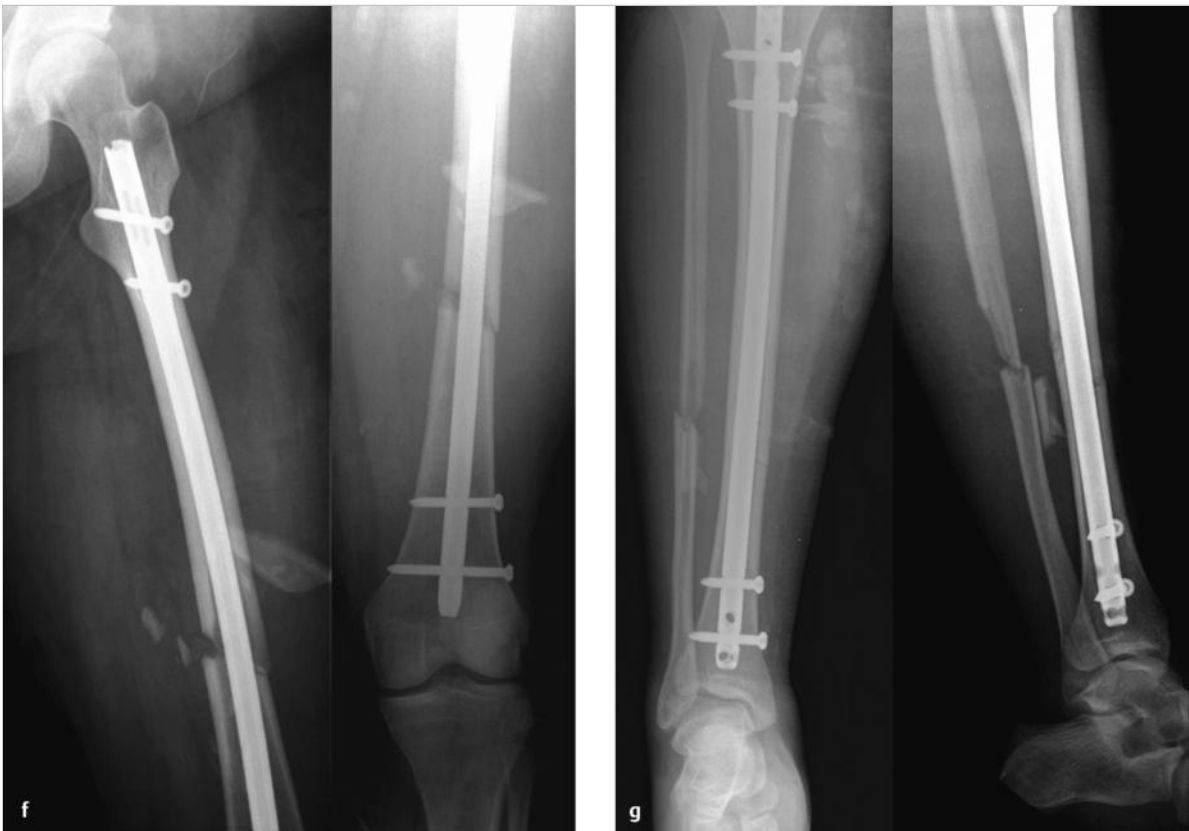


Abb. 1.9 Fortsetzung; Fallbeispiel 5.

f Linkes Femur nach Versorgung mit antegradem Marknagel.

g Rechte Tibia nach Versorgung mit aufgebohrtem Tibiamarknagel.

ben zu einer weitgehenden Minimierung des OP-Risikos geführt und letztendlich den komplikationslosen postoperativen Verlauf mit kurzer stationärer Aufenthaltsdauer bedingt. Zusätzlich spielte das junge Alter der Patientin und ihr guter Gesundheitszustand eine Rolle, die mit dazu beitrugen, dass sie die operativen Eingriffe gut überstand.

1.5 Zusammenfassung

Patienten mit hoher Verletzungsschwere (ISS), Thoraxtrauma, Schädel-Hirn-Trauma und relevantem Volumenbedarf als Zeichen einer Blutung bedürfen einer exakten Untersuchung nicht nur in der Akutphase, sondern speziell im weiteren Verlauf, um in der Zusammenschau der Befundkonstellation den optimalen Zeitpunkt für die definitive Versorgung festlegen zu können. Faktoren wie Patientenalter, Vorerkrankungen oder Ähnliches sollten hierbei ebenfalls in die Gesamtentscheidung mit einbezogen werden. Eine Zusammenfassung von Parametern, die hierbei beachtet werden sollen, ist in ► Tab. 1.2 aufgelistet.

Obwohl die definitive Frakturversorgung zu einem frühen Zeitpunkt nachweislich zu einem verkürzten Krankenhaus- und intensivmedizinischen Aufenthalt führt und dem Patienten eine frühzeitige Mobilisierung ermöglicht, können gerade operative Prozeduren innerhalb der ersten 24 Stunden bei schwerverletzten Patienten zu Hypoxie und Minderperfusion führen, welche im weiteren Verlauf in Dysfunktionen verschiedenster Organe bis hin zum Multiorganversagen enden können.

Besondere Vorsicht ist bei den sogenannten Borderline-Patienten geboten, die einer frühen operativen Versorgung zugeführt werden. Hier ist intraoperativ besonderes Augenmerk auf Zeichen der Dekompensation – wie Störung der Gerinnung, Anstieg des Laktatspiegels oder Abfall der Körperkerntemperatur und ICP – zu achten, um ggf. von der geplanten definitiven Vorgehensweise auf eine externe Fixation nach DCO-Konzept umzusteigen.

Praxis

Tipps und Tricks

- Gefäßverletzungen sollten entweder durch die klinische Untersuchung oder mittels diagnostischer Maße wie einem ABI < 0,9 erkannt werden [43], [44].
- Eine Angiografie sollte bei Patienten mit Beckenverletzung und einem Transfusionsbedarf von mehr als vier Erythrozytenkonzentraten innerhalb von 24 Stunden oder mehr als sechs Erythrozytenkonzentraten innerhalb von 48 Stunden – trotz temporärer Beckenstabilisierung – erwogen werden [18].
- Die Inzidenz übersehener Verletzungen in den ersten 24 Stunden beträgt bis zu 12 % bei schwerverletzten Patienten.
- Die Serumspiegel von IL-6 korrelieren mit dem Ausmaß des Weichteil- und Thoraxtraumas. IL-6 ist dabei eines der am besten charakterisierten Zytokine beim akuten Inflamationsprozess.
- Der NISS scheint bei schwerverletzten Patienten bzgl. des Endergebnisses genauer zu sein als der ISS.
- Ein SIRS-Score ≥ 2 ist mit einer erhöhten Mortalität assoziiert (6,9 %).

1.6 Literatur

- [1] Althausen PL, Shannon S, Watts C et al. Early surgical stabilization of flail chest with locked plate fixation. *J Orthop Trauma* 2011; 25: 641–647
- [2] American College of Chest Physicians/Society of Critical Care Medicine Consensus Conference: definitions for sepsis and organ failure and guidelines for the use of innovative therapies in sepsis. *Crit Care Med* 1992; 20: 864–874
- [3] Balogh ZJ, Varga E, Tomka J et al. The new injury severity score is a better predictor of extended hospitalization and intensive care unit admission than the injury severity score in patients with multiple orthopaedic injuries. *J Orthop Trauma* 2003; 17: 508–512
- [4] Bhatia M, Mochhala S. Role of inflammatory mediators in the pathophysiology of acute respiratory distress syndrome. *J Pathol* 2004; 202: 145–156
- [5] Bochicchio GV, Napolitano LM, Joshi M et al. Systemic inflammatory response syndrome score at admission independently predicts infection in blunt trauma patients. *J Trauma* 2001; 50: 817–820
- [6] Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R. Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 1989; 71: 336–340
- [7] Bosse MJ, MacKenzie EJ, Riemer BL et al. Adult respiratory distress syndrome, pneumonia, and mortality following thoracic injury and a femoral fracture treated either with intramedullary nailing with reaming or with a plate. A comparative study. *J Bone Joint Surg Am* 1997; 79: 799–809
- [8] Brundage SI, McGhan R, Jurkovich GJ et al. Timing of femur fracture fixation: effect on outcome in patients with thoracic and head injuries. *J Trauma* 2002; 52: 299–307
- [9] Buduhan G, McRitchie DI. Missed injuries in patients with multiple trauma. *J Trauma* 2000; 49: 600–605
- [10] Canadian Orthopaedic Trauma Society. Reamed versus unreamed intramedullary nailing of the femur: comparison of the rate of ARDS in multiple injured patients. *J Orthop Trauma* 2006; 20: 384–387
- [11] Cerović O, Golubović V, Spec-Marn A et al. Relationship between injury severity and lactate levels in severely injured patients. *Intensive Care Med* 2003; 29: 1300–1305
- [12] Chan RN, Ainscow D, Sikorski JM. Diagnostic failures in the multiple injured. *J Trauma* 1980; 20: 684–687
- [13] Donnelly TJ, Meade P, Jagels M et al. Cytokine, complement, and endotoxin profiles associated with the development of the adult respiratory distress syndrome after severe injury. *Crit Care Med* 1994; 22: 768–776
- [14] Dutton RP, Cooper C, Jones A et al. Daily multidisciplinary rounds shorten length of stay for trauma patients. *J Trauma* 2003; 55: 913–919
- [15] Fitzpatrick DC, Denard PJ, Phelan D et al. Operative stabilization of flail chest injuries: review of literature and fixation options. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2010; 36: 427–433
- [16] Fujishima S, Aikawa N. Neutrophil-mediated tissue injury and its modulation. *Intensive Care Med* 1995; 21: 277–285
- [17] Giannoudis PV. Current concepts of the inflammatory response after major trauma: an update. *Injury* 2003; 34: 397–404
- [18] Giannoudis PV, Pape HC. Damage control orthopaedics in unstable pelvic ring injuries. *Injury* 2004; 35: 671–677
- [19] Giannoudis PV, Smith RM, Bellamy MC et al. Stimulation of the inflammatory system by reamed and unreamed nailing of femoral fractures. An analysis of the second hit. *J Bone Joint Surg Br* 1999; 81: 356–361
- [20] Goodman NW, Rosengart MR, Barnato AE et al. Defining geriatric trauma: when does age make a difference? *Surgery* 2012; 152: 668–674, discussion 674–675
- [21] Handolin L, Pajarinen J, Lassus J, Tulikoura I. Early intramedullary nailing of lower extremity fracture and respiratory function in polytraumatized patients with a chest injury: a retrospective study of 61 patients. *Acta Orthop Scand* 2004; 75: 477–480
- [22] Harwood PJ, Giannoudis PV, Probst C et al. The risk of local infective complications after damage control procedures for femoral shaft fracture. *J Orthop Trauma* 2006; 20: 181–189
- [23] Harwood PJ, Giannoudis PV, Probst C et al. Polytrauma Study Group of the German Trauma Society. Which AIS based scoring system is the best predictor of outcome in orthopaedic blunt trauma patients? *J Trauma* 2006; 60: 334–340
- [24] Harwood PJ, Giannoudis PV, van Griensven M et al. Alterations in the systemic inflammatory response after early total care and damage control procedures for femoral shaft fracture in severely injured patients. *J Trauma* 2005; 58: 446–452, discussion 452–454
- [25] Hildebrand F, Giannoudis P, van Griensven M et al. Secondary effects of femoral instrumentation on pulmonary physiology in a standardised sheep model: what is the effect of lung contusion and reaming? *Injury* 2005; 36: 544–555
- [26] Hildebrand F, Giannoudis P, Krettek C, Pape HC. Damage control: extremities. *Injury* 2004; 35: 678–689
- [27] Hildebrand F, Pape HC, van Griensven M et al. Genetic predisposition for a compromised immune system after multiple trauma. *Shock* 2005; 24: 518–522
- [28] Hoffmann M, Lefering R, Gruber-Rathmann M et al.; Trauma Registry of the German Society for Trauma Surgery. The impact of BMI on polytrauma outcome. *Injury* 2012; 43: 184–188
- [29] Jaicks RR, Cohn SM, Moller BA. Early fracture fixation may be deleterious after head injury. *J Trauma* 1997; 42: 1–5, discussion 5–6
- [30] Johnson KD, Cadambi A, Seibert GB. Incidence of adult respiratory distress syndrome in patients with multiple musculoskeletal injuries: effect of early operative stabilization of fractures. *J Trauma* 1985; 25: 375–384
- [31] Joist A, Schult M, Ortmann C et al. Rinsing-suction reamer attenuates intramedullary pressure increase and fat intravasation in a sheep model. *J Trauma* 2004; 57: 146–151
- [32] Kalb DC, Ney AL, Rodriguez JL et al. Assessment of the relationship between timing of fixation of the fracture and secondary brain injury in patients with multiple trauma. *Surgery* 1998; 124: 739–744, discussion 744–745
- [33] Karunakar MA, Shah SN, Jerabek S. Body mass index as a predictor of complications after operative treatment of acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2005; 87: 1498–1502

- [34] Keel M, Trentz O. Pathophysiology of polytrauma. *Injury* 2005; 36: 691–709
- [35] Kilgo PD, Osler TM, Meredith W. The worst injury predicts mortality outcome the best: rethinking the role of multiple injuries in trauma outcome scoring. *J Trauma* 2003; 55: 599–606, discussion 606–607
- [36] Kuhne CA, Ruchholtz S, Kaiser GM, Nast-Kolb D; Working Group on Multiple Trauma of the German Society of Trauma. Mortality in severely injured elderly trauma patients—when does age become a risk factor? *World J Surg* 2005; 29: 1476–1482
- [37] Lafferty PM, Anavian J, Will RE, Cole PA. Operative treatment of chest wall injuries: indications, technique, and outcomes. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 97–110
- [38] Law MM, Cryer HG, Abraham E. Elevated levels of soluble ICAM-1 correlate with the development of multiple organ failure in severely injured trauma patients. *J Trauma* 1994; 37: 100–109, discussion 109–110
- [39] Leinicke JA, Elmore L, Freeman BD, Colditz GA. Operative management of rib fractures in the setting of flail chest: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg* 2013; 258: 914–921
- [40] Malone DL, Kuhls D, Napolitano LM et al. Back to basics: validation of the admission systemic inflammatory response syndrome score in predicting outcome in trauma. *J Trauma* 2001; 51: 458–463
- [41] Manikis P, Jankowski S, Zhang H et al. Correlation of serial blood lactate levels to organ failure and mortality after trauma. *Am J Emerg Med* 1995; 13: 619–622
- [42] Marshall JC, Cook DJ, Christou NV et al. Multiple organ dysfunction score: a reliable descriptor of a complex clinical outcome. *Crit Care Med* 1995; 23: 1638–1652
- [43] Mills WJ, Barei DP, McNair P. The value of the ankle-brachial index for diagnosing arterial injury after knee dislocation: a prospective study. *J Trauma* 2004; 56: 1261–1265
- [44] Miranda FE, Dennis JW, Veldenz HC et al. Confirmation of the safety and accuracy of physical examination in the evaluation of knee dislocation for injury of the popliteal artery: a prospective study. *J Trauma* 2002; 52: 247–251, discussion 251–252
- [45] Napolitano LM, Ferrer T, McCarter RJ Jr, Scalea TM. Systemic inflammatory response syndrome score at admission independently predicts mortality and length of stay in trauma patients. *J Trauma* 2000; 49: 647–652, discussion 652–653
- [46] Napolitano LM, Koruda MJ, Meyer AA, Baker CC. The impact of femur fracture with associated soft tissue injury on immune function and intestinal permeability. *Shock* 1996; 5: 202–207
- [47] Neville AL, Brown CVR, Weng J et al. Obesity is an independent risk factor of mortality in severely injured blunt trauma patients. *Arch Surg* 2004; 139: 983–987
- [48] Nowotarski PJ, Turen CH, Brumback RJ, Scarboro JM. Conversion of external fixation to intramedullary nailing for fractures of the shaft of the femur in multiply injured patients. *J Bone Joint Surg Am* 2000; 82: 781–788
- [49] Osler T, Baker SP, Long W. A modification of the injury severity score that both improves accuracy and simplifies scoring. *J Trauma* 1997; 43: 922–925, discussion 925–926
- [50] Pape H, Stalp M, Dahlweid M et al. [Optimal duration of primary surgery with regards to a “borderline”-situation in polytrauma patients. Arbeitsgemeinschaft “Polytrauma” der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie]. *Unfallchirurg* 1999; 102: 861–869
- [51] Pape HC, Auf'm Kolk M, Paffrath T et al. Primary intramedullary femur fixation in multiple trauma patients with associated lung contusion—a cause of posttraumatic ARDS? *J Trauma* 1993; 34: 540–547, discussion 547–548
- [52] Pape HC, Giannoudis P, Krettek C. The timing of fracture treatment in polytrauma patients: relevance of damage control orthopedic surgery. *Am J Surg* 2002; 183: 622–629
- [53] Pape HC, Grimme K, Van Griensven M et al. EPOFF Study Group. Impact of intramedullary instrumentation versus damage control for femoral fractures on immunoinflammatory parameters: prospective randomized analysis by the EPOFF Study Group. *J Trauma* 2003; 55: 7–13
- [54] Pape HC, Hildebrand F, Pertschy S et al. Changes in the management of femoral shaft fractures in polytrauma patients: from early total care to damage control orthopedic surgery. *J Trauma* 2002; 53: 452–461, discussion 461–462
- [55] Pape HC, Schmidt RE, Rice J et al. Biochemical changes after trauma and skeletal surgery of the lower extremity: quantification of the operative burden. *Crit Care Med* 2000; 28: 3441–3448
- [56] Pape HC, van Griensven M, Rice J et al. Major secondary surgery in blunt trauma patients and perioperative cytokine liberation: determination of the clinical relevance of biochemical markers. *J Trauma* 2001; 50: 989–1000
- [57] Pape HC, Zelle BA, Hildebrand F et al. Reamed femoral nailing in sheep: does irrigation and aspiration of intramedullary contents alter the systemic response? *J Bone Joint Surg Am* 2005; 87: 2515–2522
- [58] Perdue PW, Watts DD, Kaufmann CR, Trask AL. Differences in mortality between elderly and younger adult trauma patients: geriatric status increases risk of delayed death. *J Trauma* 1998; 45: 805–810
- [59] Poole GV, Miller JD, Agnew SG, Griswold JA. Lower extremity fracture fixation in head-injured patients. *J Trauma* 1992; 32: 654–659
- [60] Porter SE, Russell GV, Dews RC et al. Complications of acetabular fracture surgery in morbidly obese patients. *J Orthop Trauma* 2008; 22: 589–594
- [61] Rangel-Frausto MS, Pittet D, Costigan M et al. The natural history of the systemic inflammatory response syndrome (SIRS). A prospective study. *JAMA* 1995; 273: 117–123
- [62] Rensing H, Bauer M. [Multiple organ failure. Mechanisms, clinical manifestations and treatment strategies]. *Anaesthesist* 2001; 50: 819–841
- [63] Roumen RM, Redl H, Schlag G et al. Inflammatory mediators in relation to the development of multiple organ failure in patients after severe blunt trauma. *Crit Care Med* 1995; 23: 474–480
- [64] Scalea TM, Boswell SA, Scott JD et al. External fixation as a bridge to intramedullary nailing for patients with multiple injuries and with femur fractures: damage control orthopedics. *J Trauma* 2000; 48: 613–621, discussion 621–623
- [65] Schult M, Kuchle R, Hofmann A et al. Pathophysiological advantages of rinsing-suction-reaming (RSR) in a pig model for intramedullary nailing. *J Orthop Res* 2006; 24: 1186–1192
- [66] Seibel R, LaDuca J, Hassett JM et al. Blunt multiple trauma (ISS 36), femur traction, and the pulmonary failure-septic state. *Ann Surg* 1985; 202: 283–295
- [67] Singer M, De Santis V, Vitale D, Jeffcoate W. Multiorgan failure is an adaptive, endocrine-mediated, metabolic response to overwhelming systemic inflammation. *Lancet* 2004; 364: 545–548
- [68] Smith JA. Neutrophils, host defense, and inflammation: a double-edged sword. *J Leukoc Biol* 1994; 56: 672–686
- [69] Stein SC, Young GS, Talucci RC et al. Delayed brain injury after head trauma: significance of coagulopathy. *Neurosurgery* 1992; 30: 160–165
- [70] Strecker W, Gebhard F, Perl M et al. Biochemical characterization of individual injury pattern and injury severity. *Injury* 2003; 34: 879–887
- [71] Talmor M, Hydo L, Barie PS. Relationship of systemic inflammatory response syndrome to organ dysfunction, length of stay, and mortality in critical surgical illness: effect of intensive care unit resuscitation. *Arch Surg* 1999; 134: 81–87
- [72] Townsend RN, Lheureau T, Protech J et al. Timing fracture repair in patients with severe brain injury (Glasgow Coma Scale score <9). *J Trauma* 1998; 44: 977–982, discussion 982–983
- [73] Waydhas C, Nast-Kolb D, Jochum M et al. Inflammatory mediators, infection, sepsis, and multiple organ failure after severe trauma. *Arch Surg* 1992; 127: 460–467
- [74] Wolinsky PR, Banit D, Parker RE et al. Reamed intramedullary femoral nailing after induction of an “ARDS-like” state in sheep: effect on clinically applicable markers of pulmonary function. *J Orthop Trauma* 1998; 12: 169–175, discussion 175–176
- [75] Zafonte RD, Hammond FM, Mann NR et al. Relationship between Glasgow coma scale and functional outcome. *Am J Phys Med Rehabil* 1996; 75: 364–369
- [76] Zalavras C, Velmahos GC, Chan L et al. Risk factors for respiratory failure following femoral fractures: the role of multiple intramedullary nailing. *Injury* 2005; 36: 751–757

2 Weichteilbehandlung

D. A. Volgas,

Übersetzer: C. Schopper, G. Röderer, F. Gebhard

2

2.1 Einleitung

Die Behandlung und der Umgang mit den Weichteilen zählen zu den entscheidenden Aspekten der Frakturbehandlung. Als in den 1950er und 1960er Jahren von den damaligen Experten die Prinzipien der anatomischen Rekonstruktion der Gelenkfläche, die Theorien der Stabilitätslehre und das Prinzip der Frühmobilisierung entwickelt wurden, hatte der Umgang mit den umgebenden Weichteilen noch eine nachrangige Bedeutung. Obwohl diese Herangehensweise in vielen Fällen zum Erfolg führte, musste eine hohe Rate an Komplikationen wie Wunddehiscenz und Infektionen in Kauf genommen werden. Daraufhin wurden gewebefreundlichere Implantate und chirurgische Techniken wie die minimalinvasive perkutane Plattenosteosynthese (MIPPO) [17], [33], [34], [35] entwickelt. Durch die Einführung dieser Methoden konnte die Zahl an Komplikationen verringert und die Behandlungsergebnisse verbessert werden.

Ein Großteil der gängigen Komplikationen sowohl aus Sicht des Unfallchirurgen, als auch aus der des Patienten ist mit einem Weichteiltrauma vergesellschaftet. So übersteigt die Häufigkeit von Wundheilungsstörungen oder tiefen Weichteilinfekten die der verzögerten oder ausbleibenden Frakturheilung bei weitem. Zudem fühlen sich Unfallchirurgen häufig nicht ausreichend qualifiziert, schwere Traumatisierungen der Weichteile adäquat zu behandeln, was auf Mängel in der Aus- und Weiterbildung zurückgeführt werden kann.

Das vorliegende Kapitel behandelt den anatomischen Aufbau der Haut, der darunter liegenden Weichteile sowie des Knochens, zudem werden Behandlungstechniken vorgestellt, die helfen können, den verletzten und zugleich enorm wichtigen Weichteilmantel zu schützen und somit auftretende Komplikationen zu behandeln.

2.2 Anatomie

Die Haut erhält ihre Blutzufuhr über exakt definierte Gefäßareale, die *Angiosome* [63] genannt werden. Die Angiosome entsprechen im Grunde den *Dermatomen*, die wiederum die Zuordnung peripherer Nerven zu Hautregionen widerspiegeln. Analog beschreiben die Angiosome die kutanen Versorgungsgebiete der arteriellen Strombahn. Die Kenntnis dieser Angiosome stellt die Grundlage der Technik des Lappentransfers dar, einer chirurgischen Möglichkeit zur Deckung von Weichteildefekten [4], [6], [13], [43], [53], [61], [62], [64]. Darüber hinaus kann dieses Wissen dem Chirurgen helfen, operative Zugänge durchzuführen, Wunden zu explorieren oder Revisionen in geschädigtem Gewebe vorzunehmen.

Die üblichen Angiosome der oberen und unteren Extremität sind in ► Abb. 2.1 und ► Abb. 2.2 dargestellt. Die Blutversorgung eines Angiosoms wird über Perforansgefäße aus tieferen arteriellen Quellen gewährleistet (► Abb. 2.3). Diese Perforansgefäße erreichen Haut und Faszien über Muskelgewebe oder intramuskuläre Septen (► Abb. 2.3). Sobald diese Perforansgefäße die tiefe Faszie erreichen, verteilen sie sich in axialer Richtung entlang der Faszie und geben oberflächliche Äste zu den subdermalen Plexus der Haut ab. Im Bereich der faszialen und subkutanen Schicht existieren longitudinal angelegte Gefäßnetzwerke, die Versorgungsgebiete von zuführenden Perforansgefäßen verbinden. So können sich die Gefäße eines Angiosoms erweitern, um einen lateralen Versorgungsausgleich herzustellen, wenn es im Bereich des benachbarten Angiosoms zu reduziertem Blutfluss gekommen ist.

Praxis

Tipps und Tricks

Eignen Sie sich fundierte Grundkenntnisse an. Sachge rechter Umgang mit dem Instrumentarium, Verständnis der Blutversorgung der Haut, Erkennen der entscheidenden Funktionen der Faszie und das Erwerben grundsätzlichen Wissens über die Prinzipien des Débridements werden dabei behilflich sein, viele Probleme zu vermeiden.

Das Prinzip der Blutversorgung erklärt den altbekannten Leitsatz, dass Wunden im Bereich der Malleolen, des Kniegelenks und der ventralen Tibia höhere Komplikationsraten aufweisen als Wunden in anderen Regionen. In diesen Regionen, die *Übergangszonen* zwischen Angiosomen darstellen, erweist sich die Blutversorgung prinzipiell als sensibler. Sie wird hier vorrangig durch den longitudinalen Fluss durch die Faszie und die subdermalen Plexus der benachbarten Perforansgefäße gewährleistet. Diese Übergangszonen befinden sich vornehmlich oberhalb von Sehnen, Knochen oder Gelenken, Stellen, an denen weniger Perforansgefäße vorhanden sind.

Aus klinischer Sicht zeigt die Situation der Blutversorgung in diesen Zonen mehrere entscheidende Auswirkungen: Erstens ist es von großer Bedeutung, Haut und tiefere Schichten bei der Gewebepreparation in einer dieser Zonen in einer vitalen Einheit zu belassen. Dieses Vorgehen wird die Blutversorgung der Haut am wenigsten beeinträchtigen. Zum Zweiten muss bei dem Ansinnen, die Faszie zu unterminieren, die Lage der Perforansgefäße

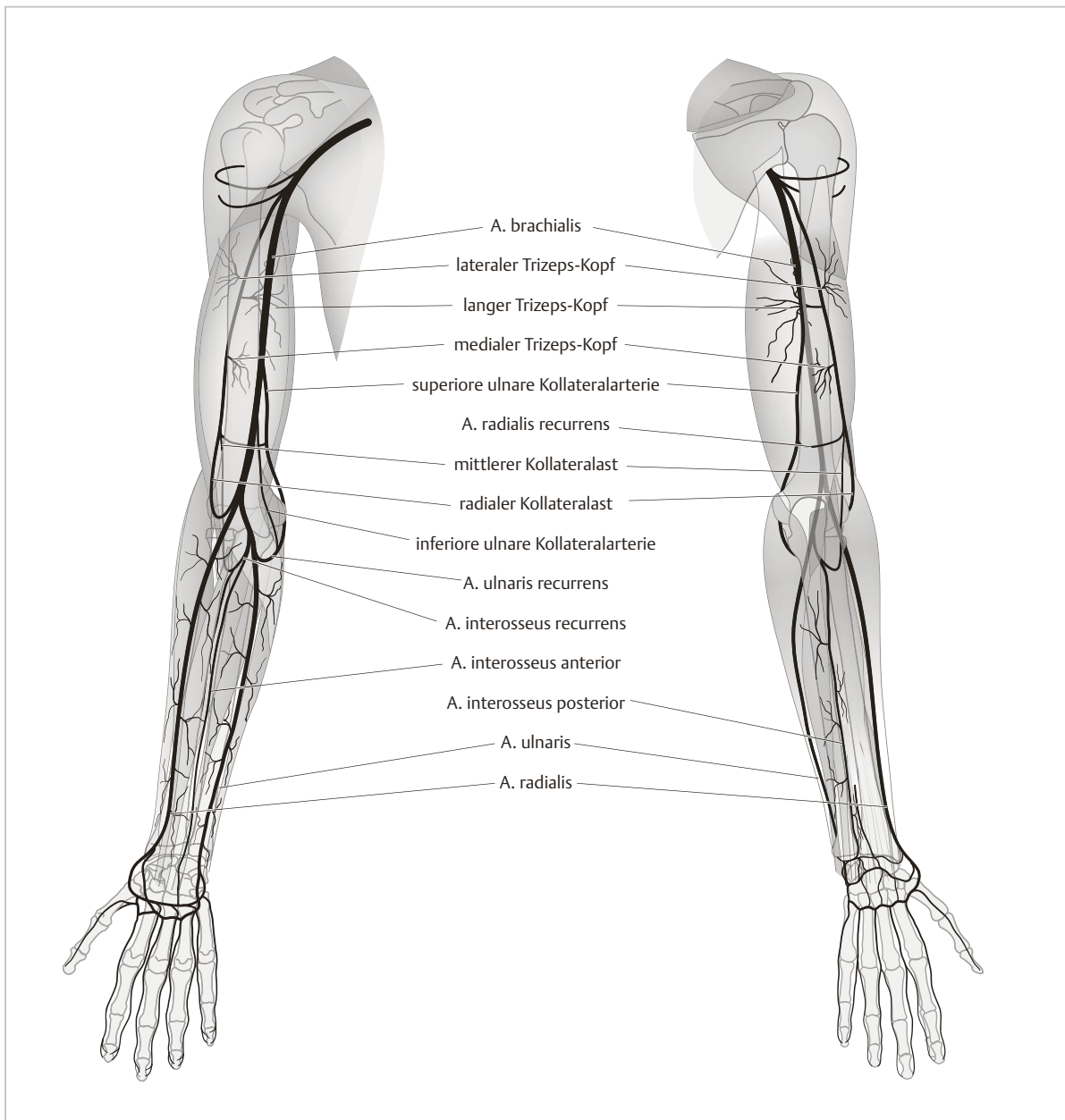


Abb.2.1 Angiosome der oberen Extremität. Schematische Darstellung.

beachtet werden. Im Falle einer frischen Verletzung oder einer Revision muss der Status der Perforansgefäße erhoben werden, da sie durch das Trauma oder einen vorangehenden Eingriff geschädigt sein können. Der schonende

Umgang mit dem Weichgewebe und die Kenntnis der vaskulären Anatomie sind essentiell für die Planung operativer Zugänge und Lappenplastiken im Betätigungsfeld der Chirurgie des Bewegungsapparats.

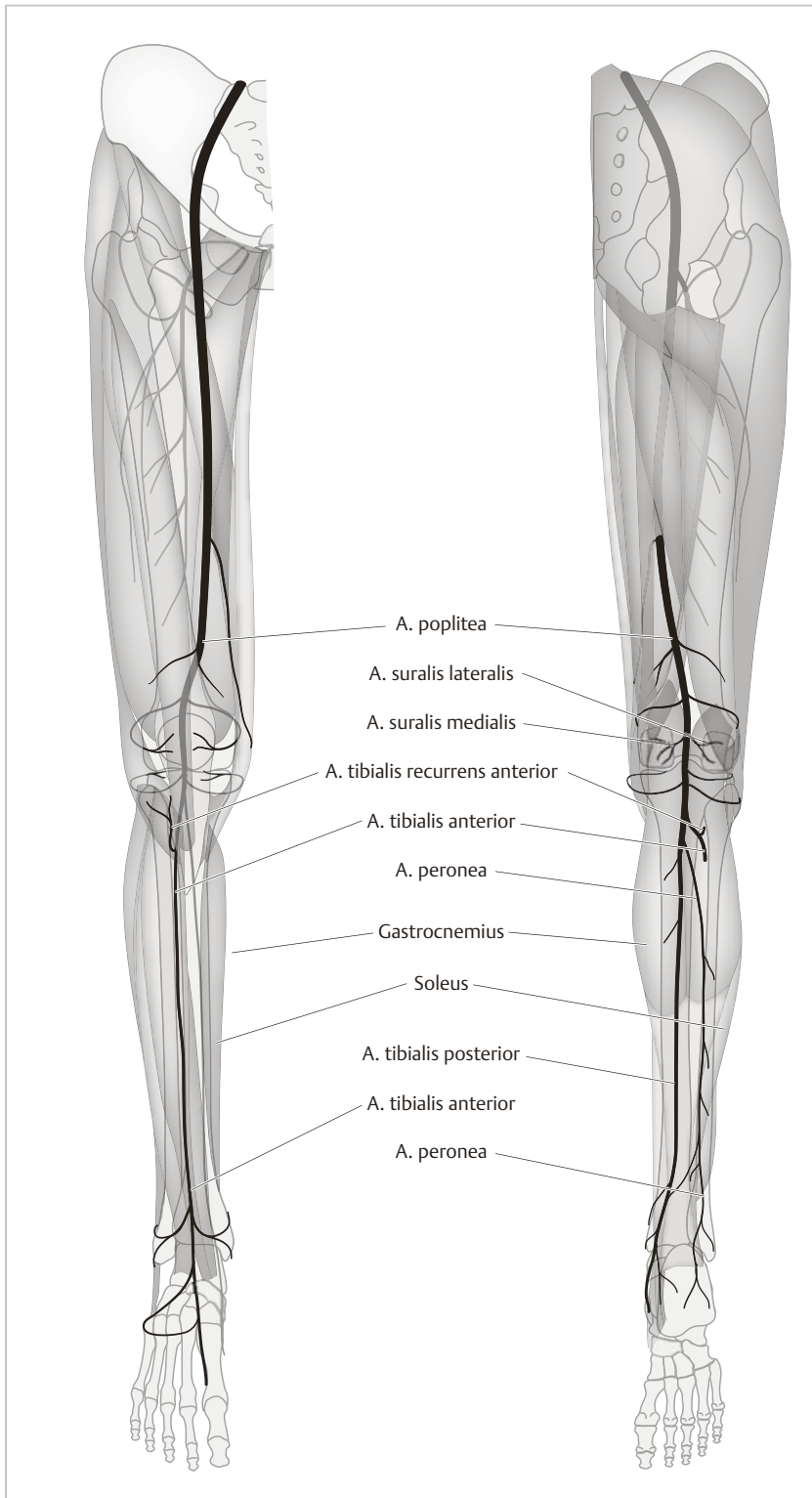


Abb. 2.2 Angiosome der unteren Extremität. Schematische Darstellung.

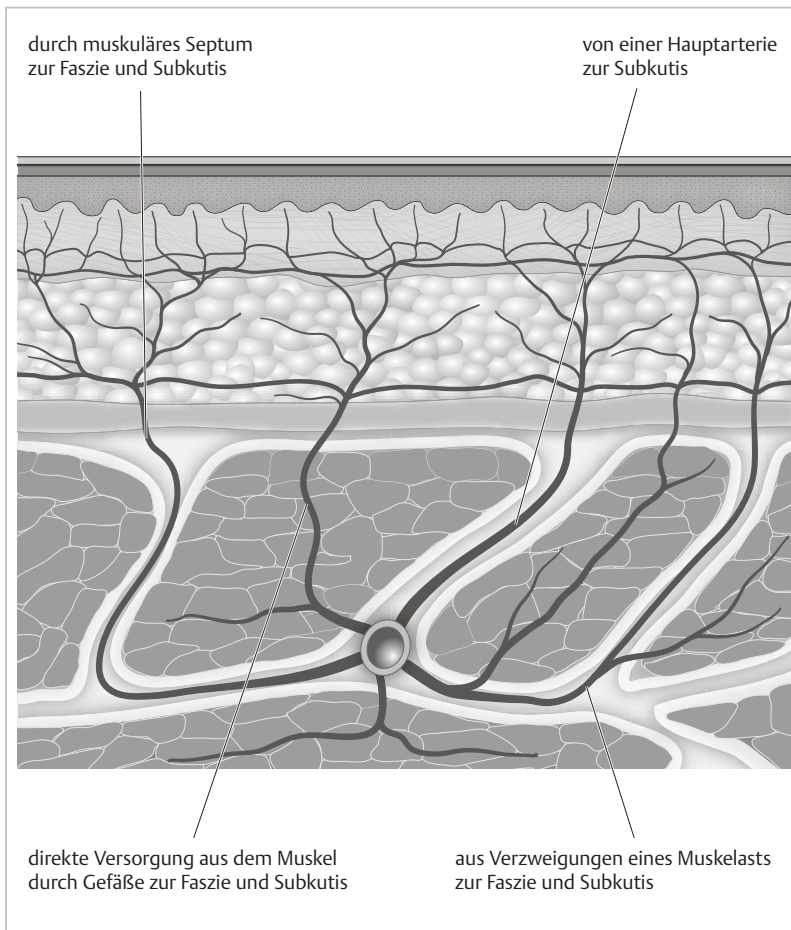


Abb. 2.3 Unterschiedliche Blutversorgungsmuster der Haut. Schematische Darstellung. Zu beachten ist, dass sämtliche Blutgefäße axial zur Faszia ausgerichtet sind.

2.3 Initiale Einschätzung und Klassifikation

Die Einschätzung einer Wunde beinhaltet einerseits die initiale Statuserhebung in der chirurgischen Ambulanz und andererseits eine ausführlichere Exploration im Rahmen einer Operation. Zu Beginn sollte im Rahmen der Notaufnahme eine Beurteilung des Allgemeinzustands des Patienten erfolgen. Hierbei ist ein besonderes Augenmerk auf Begleitverletzungen, den Allgemeinzustand des Patienten sowie Krankheits- und Raucheranamnese zu legen.

Im Rahmen einer Lehrsituation sollte die Wunde trotzdem nur von einer Person untersucht werden, da wiederholte Manipulationen die Infektionsrate erhöhen können. Um das Ausmaß der Verletzung dokumentieren zu können, sollten fotografische Befunde festgehalten werden. Zeit und Umstände spielen hierbei eine wesentliche Rolle. Beispielsweise müssen Wunden, die über längere Zeit Wasserkontakt ausgesetzt waren oder bereits zwölf Stunden alt sind, anders behandelt werden, als solche, die zwei Stunden alt sind und von einem Motorradunfall herrühren. In sämtlichen Fällen muss von bakterieller Besiedelung unterschiedlicher Art ausgegangen werden.

2.3.1 Klassifikation von Weichteilschäden

Zur Beschreibung von Weichteilschäden müssen im Wesentlichen zwei Klassifikationen genannt werden.

Tscherne-Klassifikation

Die Tscherne-Klassifikation zur Beurteilung geschlossener Frakturen wurde 1982 (► Tab. 2.1) [65] erstbeschrieben und beruht auf einer Beschreibung des subjektiv empfundenen Weichteilzustands, basierend auf Beobachtung, dem Mechanismus der Verletzung und dem Schweregrad des Bruches. Die Tscherne-Klassifikation wird ausschließlich für geschlossene Frakturen verwendet und wird trotz ihres Hanges zu Subjektivität und anwenderspezifischer Variabilität weitläufig verwendet.

Klassifikation der AO

Die Tscherne-Klassifikation wurde von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) weiterentwickelt, um ein objektiveres Klassifikationssystem anbieten zu können, das den Verletzungsgrad jeder Weichteil-

Tab. 2.1 Tscherne-Grad der Weichteilbeschädigung (geschlossene Frakturen).

Grad 0	Grad I	Grad II	Grad III
- kein oder geringfügiger Weichteilschaden - indirekter Frakturmechanismus - einfache Frakturform	- oberflächliche Abschürfung oder Kontusion - innerer Fragmentdruck auf die Haut - einfache Frakturform oder mittelgradige Verletzungsenergie	- tiefe kontaminierte Wunden oder tiefe Kontusionen - beginnendes Kompartmentsyndrom - mittlere bis schwere Frakturformen	- ausgedehnte Weichteilkontusionen - Abschürfungen - Zerstörung von Muskelgewebe - Morel-Lavallée-Läsion - Kompartmentsyndrom - Gefäßverletzungen - Trümmerfrakturen - hohe Verletzungsenergie

Tab. 2.2 AO-Weichteilklassifikation.

Geschlossener Weichteilschaden (IC)		Offener Weichteilschaden (IO)		Muskel-Bindegewebs-Verletzung (MT)		Neurovaskuläre Verletzung (NV)	
IC 1	kein Weichteilschaden	IO 1	von innen aufgebrochene Haut	MT 1	keine Muskelverletzung	NV 1	keine neurovaskuläre Verletzung
IC 2	keine Laceration, aber Kontusion	IO 2	von außen aufgebrochene Haut, <5 cm, kontusionierte Ränder	MT 2	umschriebene Muskelverletzungen in einem Kompartiment	NV 2	isolierte Nervenverletzung
IC 3	umschriebenes Decollement	IO 3	von außen aufgebrochene Haut, >5 cm, erweiterte Kontusionen, avitale Ränder	MT 3	anzunehmende Muskelverletzungen in 2 Kompartimenten	NV 3	lokale Gefäßverletzung
IC 4	ausgedehntes, geschlossenes Decollement	IO 4	anzunehmende Kontusionen über den gesamten Durchmesser, Abschürfungen, ausgedehnte Abschürfungen, ausgedehntes, offenes Decollement, Hautverlust	MT 4	Muskeldefekt, Sehnenlaceration, ausgedehnte Muskelkontusion	NV 4	ausgedehnte segmentale Gefäßverletzung
IC 5	Nekrosen auf Basis von Kontusionen	–	–	MT 5	Kompartment-/Crush-Syndrom mit ausgedehntem Verletzungsareal	NV 5	kombinierte neurovaskuläre Verletzung inkl. subtotaler und totaler Amputation

komponente berücksichtigt. In diesem Klassifikationssystem werden Verletzungen anhand des Verletzungsausmaßes des Integuments, des Muskel- und Bindegewebsapparats sowie neurovaskulärer Strukturen kategorisiert (► Tab. 2.2). Dieses Klassifikationssystem ist komplex und schwierig in der Praxis umzusetzen, soll aber den behandelnden Chirurgen dazu ermutigen, den Weichteilschaden systematisch zu bewerten.

Was das Management von Patienten mit Weichteilschäden betrifft, ist es weitaus wichtiger, das Ausmaß des Schadens kritisch und allumfassend darzustellen und die Behandlung dementsprechend zu planen, als die Situation exakt nach einer Klassifikation zu beschreiben. Der Chirurg sollte jeden Teilaspekt der Verletzung berücksich-

tigen und daraus seine Schlüsse für eine adäquate Behandlung ziehen.

2.3.2 Klassifikation offener Frakturen

Gustilo-Anderson-Klassifikation

Offene Frakturen werden für gewöhnlich nach der Gustilo-Anderson-Klassifikation beschrieben. Grad-I-Verletzungen weisen einen Weichteilschaden <1 cm auf und zeigen minimale periostale Schäden und kleine knöcherne Absprengungen, was auf ein niedrigenergetisches Trauma hinweist. Grad-II-Verletzungen zeigen ausgedehntere periostale Schäden und eine Weichteilscha-

den von 1–10 cm. Grad-III-Verletzungen sind vergesellschaftet mit ausgedehnterem Weichteilschaden, ausgeprägten periostalen Schäden und einer deutlich höheren Verletzungsenergie. Eine differenzierte Einteilung erfolgt in Grad IIIa, der die oben genannten Eigenschaften aufweist, und IIIb, welcher einer plastischen Deckung bedarf. Grad IIIc benötigt schließlich eine vaskuläre Rekonstruktion.

Die Intention der Klassifikation richtet sich vornehmlich nach dem Grad der Weichteilverletzung und der Kontamination und weniger nach der bloßen Ausdehnung der Verletzung. Aus diesem Grund werden Wunden, die durch Schusswaffen oder durch den Kontakt mit einem stark verschmutzten Gegenstand hervorgerufen werden, automatisch als Grad III klassifiziert, weil sie das Potenzial ausgedehnter Weichteilschäden und hoher Kontaminationswahrscheinlichkeit bergen. Obwohl diese Klassifikation weitläufig bekannt ist und häufig verwendet wird, wird sie von einigen Autoren als wenig urteilsübereinstimmend bewertet [10], [27].

Klassifikation der OTA

Eine überarbeitete Klassifikation wurde von der Orthopaedic Trauma Association (OTA) entwickelt [45], um das Problem der Urteilsübereinstimmung zu adressieren. Diese Klassifikation enthält eine objektivere Bewertung der unterschiedlichen, in das Trauma involvierten Gewebetypen wie Haut, Muskeln und Arterien genauso wie Knochen und den Grad der Kontamination. Jeder Aspekt der Verletzung wird im Rahmen einer dreistufigen Herangehensweise bewertet (siehe Textkasten).

Klassifikation

Klassifikation der Orthopaedic Trauma Association (OTA) für offene Frakturen (Version 2) [45]

Haut

1. Laceration mit Rändern, die sich entsprechen.
2. Laceration mit Rändern, die sich nicht entsprechen.
3. Laceration begleitet von ausgedehntem Decollement.

Muskel

1. Keine relevante Muskelnekrose; geringgradige Muskelverletzung mit intakter Muskelfunktion.
2. Verlust an Muskelmasse ohne Funktionsverlust; geringfügige lokale Nekrosezonen, die entfernt werden müssen; intakte Muskel-Sehnen-Einheit.
3. Avitaler Muskel, Verlust der Muskelfunktion; partielle oder komplette Kompartimententfernung; komplette Unterbrechung der Muskel-Sehnen-Einheit, die Muskelenden lassen sich nicht wieder zusammenführen.

Arteriell

1. Keine wesentliche Gefäßverletzung.
2. Gefäßverletzung ohne distale Ischämie.
3. Gefäßverletzung mit distaler Ischämie.

Kontamination

1. Keine oder geringfügige Kontamination.
2. Oberflächliche Kontamination.
3. Das Kontaminat befindet sich eingeschlossen in Muskel-, Binde- oder Knochengewebe; problematisches Kontaminat (Fäkalien, Viehmist, verschmutztes Wasser).

Knochenverlust

1. Keiner.
2. Fehlendes Knochenstück oder avaskuläre Fragmente, jedoch besteht noch Kontakt zwischen den proximalen und den distalen Fragmenten.
3. Segmentaler Knochenverlust.

Diese Klassifikation wurde hinsichtlich ihrer Urteilsübereinstimmung geprüft und scheint gegenüber der Gustilo-Anderson-Klassifikation im Vorteil zu sein [1]. Sie wird bislang noch nicht verbreitet angewendet.

Surviving the Night



- Zur Wundtherapie von Verletzungen, die Weichteildefekte aufweisen, sollte die Vakuumversiegelung Anwendung finden, da in diesem Fall die Wahrscheinlichkeit einer Infektion hoch ist, sowie z. B. nach verlängerter Exposition mit Wasser oder einem Kontaminat. Auch sollte dieses Verfahren bei freiliegendem Knochen eingesetzt werden. Eine antibiotische Abschlürfung sollte in diesen Fällen zusätzlich erfolgen.
- Eine vorübergehende externe Stabilisierung oder definitive Versorgung verhindert weitere Weichteilschäden.
- Mit einer Antibiotikatherapie sollte so früh wie möglich begonnen werden, noch vor dem Gewinnen von Blutkulturen. Tetanusimmunisierung nicht vergessen!
- Schwerwiegend kontaminierte Wunden müssen umgehend operativ revidiert werden; weniger stark verschmutzte Wunden können bis zum nächsten Tag konservativ behandelt werden.

2.4 Einzelne Aspekte der Weichteilbehandlung

Viele Chirurgen, in vielen Fällen unerfahrene Anwender, unterschätzen die positive Auswirkung präziser Weichteilbehandlung auf den Heilungsprozess. Durch bewusstes Weichteilmanagement kann zwar das primäre Ausmaß der Verletzung nicht verringert, jedoch das Ausmaß an Folgeschäden gering gehalten werden. Ein schlüssiges Weichteilmanagement ist die Folge jahrelanger Übung oder gezielter diesbezüglicher Anleitung und Ausbildung. Leider erscheint es gerade deswegen schwierig, diese Kenntnisse über ein Buch zu vermitteln, wenngleich zumindest gewisse Grundprinzipien erläutert werden können. Die folgende Auswahl an Grundsätzen kann für Erfahrene wie Einsteiger zugleich von praktischem Nutzen sein.

Praxis

Tipps und Tricks

Viele Traumatologen wurden nicht differenziert in Weichteilbehandlung unterwiesen, obwohl sie primär für die Frakturversorgung verantwortlich sind. Gerade deswegen steht dieser Berufsgruppe eine fundierte Unterweisung in Weichteilbehandlung zu.

2.4.1 Inzision

Präoperativ soll die Inzision bereits so geplant werden, dass eventuelle Erweiterungen und zusätzliche Inzisionen komplikationslos realisiert werden können. Ein diesbezüglich klassisches Beispiel stellt die trimalleoläre Fraktur dar. Bei der Planung der lateralen Inzision sollte schon berücksichtigt werden, ob das dorsale Fragment von late-

ral, von dorsal oder von medial adressiert wird. In diesem Zusammenhang soll auch nochmals erwähnt werden, dass eine kleine Inzision nicht gleichbedeutend mit minimalinvasiver Chirurgie ist. Eine kleine Wunde, auf die starke Kräfte wirken, kann letztlich mit mehr Flurschaden in Zusammenhang stehen, als eine große Wunde, die weniger kinetischer Energie ausgesetzt wird.

2.4.2 Instrumentierung

Ein gängiger Fehler besteht darin, Weichteile mit dem Skalpell zu schälen. Die Klinge sollte prinzipiell im rechten Winkel zur Haut geführt werden, um keinen devitalisierenden Effekt zu erzeugen. Wenn eine Schere zur Tiefenpräparation verwendet wird, sollte darauf geachtet werden, dass die Schere im Niveau der Inzision geführt wird. Ein stumpfes Unterminieren der Haut ist zu vermeiden (► Abb. 2.4).

Die Pinzette ist dazu da, Gewebe auseinander zu drängen und nekrotisches Gewebe zu entfernen. Auf keinen Fall sollten kompromittierte Weichteile mit der Pinzette gequetscht werden. Wenn immer möglich, sollte derbes Gewebe wie Faszien anstatt der Haut gefasst werden.

In ischämischen Arealen sollten Retraktoren nur dann verwendet werden, wenn die tiefe Faszie bereits dargestellt ist, dann sollten sie unter der Faszie eingesetzt werden. Retraktoren sollten stets ohne Zug gehalten werden, sobald sie nicht mehr benötigt werden. Selbsthaltende Retraktoren erweisen sich als diesbezüglich problematisch.

2.4.3 Tourniquet

Die Verwendung eines Tourniquets obliegt im Wesentlichen der Präferenz des Chirurgen, allerdings gibt es Situationen, in denen seine Verwendung unterbleiben sollte [16]. Gewebe beispielsweise, das sich durch ein Trauma



Abb. 2.4 Instrumentierung bei Weichteildefekten. Linkes Bild: Das Spreizen sollte entlang der Inzisionsrichtung vorgenommen werden. Rechtes Bild: Ein Spreizen quer zur Inzisionsrichtung, mit Separierung der Haut von der darunterliegenden Faszie, ist zu vermeiden.

bereits in einem kritischen Durchblutungszustand befindet, würde durch die Anlage eines Tourniquets nur weiter geschädigt werden. Zusätzlich würde ein durch erhöhte Reperfusion entstandenes Ödem den venösen und lymphatischen Rückstrom zusätzlich kompromittieren, durch stauungsbedingte Hyperkoagulation können zudem subkutane Hämatome entstehen.

2.4.4 Hämostase

Es muss darauf geachtet werden, eine adäquate Gerinnungssituation zu erreichen. Eine elektrische Koagulation ist dabei mit großer Sorgfalt vorzunehmen. Ihr Einsatzbereich besteht in der Stillung sichtbarer Blutungsquellen, ein generelles Veröden der Wundränder muss unbedingt vermieden werden. Sanfter Druck von außen zur Wundmitte hin ausgeführt kann dabei helfen, Blutungsquellen zu identifizieren und über Verklebung direkt zu verschließen. Die meisten kutanen Blutungsquellen lassen sich indirekt über Druck von außen oder über Retraktoren ausgeübt stillen.

2.4.5 Innere Frakturreposition

Periartikuläre Fragmente können direkt von der Frakturzone aus reponiert werden. ► Abb. 2.5 zeigt einen Zugang zu einer zentralen Depressionszone einer artikulären Fraktur, der Fixierung und Unterfütterung ohne wesentliche Weichteilschädigung erlaubt. Dies wurde durch Planung der Hautinzision entlang einer kortikalen Frakturlinie möglich, was den Zugang zur artikulären Depressionszone deutlich erleichtert hat. Das kortikale Fragment wird in diesem Fall mit einem Laminaspreizer neu platziert, die Depressionszone kann adressiert und Knochenersatzmaterial eingebracht werden. Schließlich wird das kortikale Fragment wieder eingesetzt und durch perkutanes Einbringen die Stabilisierung mittels Schraube oder Platte bewerkstelligt.

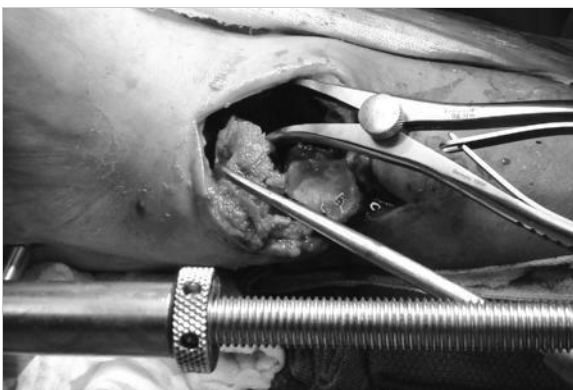


Abb. 2.5 Innere Frakturreposition. Im Falle dieser distalen Tibiafraktur wird der Laminaspreizer dazu verwendet, die Frakturzone darzustellen und die Depressionszone zu reponieren.

2.4.6 „No-Touch“-Technik

Die „No-Touch“-Technik ist bei der Behandlung der Kalkaneusfraktur weit verbreitet. Prinzip der Technik ist es, die Fraktur über einen lateralen Zugang darzustellen, um dann über das Einbringen zweier Kirschner-Drähte in die distale Fibula und den Talushals diese als Retraktoren für das weitere Vorgehen zu benutzen (► Abb. 2.6). Die Technik reduziert den Weichteilschaden, da die eingebrachten Kirschner-Drähte beständigen Druck auf das Gewebe ausüben, ohne Druckspitzen zu erzeugen. Die Grundzüge dieser Technik können in jeder beliebigen Region angewendet werden.

2.5 Wundkonditionierung

Wundkonditionierung beschreibt jene Maßnahmen, die zur Verbesserung der Heilungsrate gesetzt werden. Diese beinhalten unter Umständen Maßnahmen zur Abschwelung, Verbesserung der Durchblutung, Verringerung der bakteriellen Besiedelung, vorübergehenden Deckung der Wundfläche oder zur Vermeidung der Retraktion der Wundränder.

2.5.1 Zeitpunkt für Antibiose und Débridement von offenen Frakturen

Das traditionelle Sechs-Stunden-Fenster für Débridement und Konditionierung einer Wunde wurde durch eine ganze Zahl von Studien in Zweifel gezogen [2], [9], [23], [31], [47], [49], [52], [56], [57], [58], [66], [74]. Obwohl es Tierversuche gibt, die ein Ansteigen der Infektionsraten von Wunden bei einem Débridement 24 Stunden nach Ereignis zeigen [9], herrscht Einigkeit darüber, dass einer frühen Verabreichung von Antibiotika gegenüber einem zeitigen Débridement der Vorzug zu geben ist. Trotzdem erscheint es schwieriger, Entsprechung zu zeigen, als Widerspruch zu beweisen, weshalb die meisten Autoren

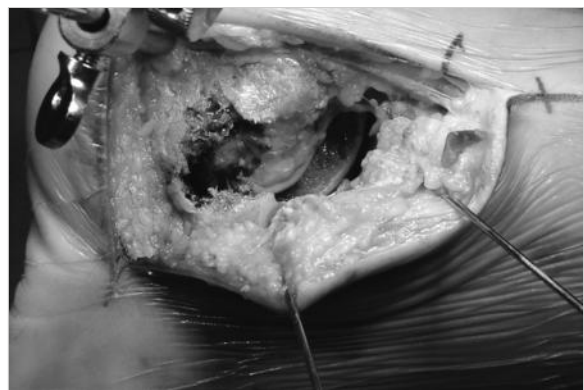


Abb. 2.6 „No-Touch“-Technik. Kirschner-Drähte werden dazu benutzt, den Weichteillappen wegzuhalten und dadurch die hinteren Anteile der Fraktur einsehbar zu machen.

empfehlen, das frühzeitige Débridement einer Wunde fortzusetzen, wenn auch nicht mehr zwingend innerhalb des Sechs-Stunden-Fensters.

Praxis

Tipps und Tricks

- Beim Adressieren einer Wunde sollte immer der weitere Behandlungsalgorithmus im Auge behalten werden. Falls möglich, sollten definitive Schritte bereits beim Débridement berücksichtigt werden.
- Im Rahmen des ersten Débridements kann bereits erhoben werden, welche Gewebeanteile ersetzt werden müssen und welche nicht. So sollten z. B. sämtliche freiliegende Sehnen, Knochen und Muskeln gründlich dokumentiert werden.
- Hämatome innerhalb der Subkutis oder innerhalb von Muskel deuten auf avitales Gewebe hin.
- Mehrfache Manipulationen der Wunde sollten vermieden werden. Nach der ersten Sichtung in der Notfallambulanz haben die weiteren Revisionen nur noch im OP zu erfolgen.

2.5.2 Abschwellung

Pneumatische Kompressoren wie etwa das PlexiPulse Gerät (NuTech, San Antonio, TX, USA) haben gezeigt, dass sie die Dauer bis zur Abschwellung der verletzten unteren Extremität verringern können [11]. Das Prinzip scheint hierbei die Förderung des venösen Rückstroms der unteren Extremität zu sein. Unserer Erfahrung nach eignen sich diese Geräte trotz ihrer Vorzüge, was die Abschwellung betrifft, nur wenig, da sie Schmerzen und hohe Nebengeräusche verursachen. Diesbezüglich sind sie auch gerade für den ambulanten Gebrauch kaum einsetzbar.

Striktes Hochlagern bleibt der Standard zur Abschwellung. Typischerweise erreicht die posttraumatische Schwellung ihren Höhepunkt am 4.–5. Tag und nimmt vom 7.–10. Tag schrittweise wieder ab.

2.5.3 Hauttraktion (Gummibänder und Klammern)

Eine sehr effektive Technik, um eine Wundverkleinerung für Folgeeingriffe zu erreichen, stellt die Verwendung von Vessel Loops und Klammern dar. Diese Technik kann Anwendung finden, wenn sich eine Wunde aufgrund der Weichteilschwellung nicht verschließen lässt. Üblicherweise wird sie beim Wiederverschluss nach Fasziotomie beim Kompartmentsyndrom verwendet [7], allerdings kann diese Technik auch bei jeder anderen Verletzung zum Einsatz kommen, wenn die Weichteilschwellung einen Wundverschluss nicht zulässt. Im Falle eines Weichteilverlusts ist diese Technik nicht erfolversprechend.



Abb. 2.7 Hauttraktion. Vessel Loops und Klammern wurden 72 Stunden vor Aufnahme benutzt, um der Anschwellung Zeit zu geben. Jetzt können die Klammern entfernt werden, und die Wunde wird verschlossen.

Prinzip dieser Technik ist es, einen Vessel Loop mit einer Klammer in einer der Wunddecken zu fixieren (► Abb. 2.7). Anschließend wird der Vessel Loop, ähnlich einem Schnürsenkel die Wunde fortlaufend kreuzend, mit Klammern fixiert. Diese Technik erzeugt kontinuierlichen Zug auf die Wundränder und kann nach Abschwellung der Weichteile eine Wiederannäherung der Wundränder zur Naht ermöglichen. Die Technik kann auch genauso dazu benutzt werden, um eine Retraktion der Wundränder bis zum definitiven Wundverschluss zu verhindern.

2.5.4 Unterdruck-Wundtherapie

Vakuumversiegelungssysteme (VVS) sind Systeme, die aus einem perforiertem Schwamm, einer Unterdruckeinheit und einem Sammelkanister bestehen, in dem Wundsekret gesammelt werden kann. Die Vakuumversiegelung wird als eine Kombination von drei Wirkprinzipien beschrieben: stimulierte Angiogenese, Reduktion interstitieller Ödeme und mechanische Dehnung des Bindegewebes, was dessen Neubildung anregt [68].

Aus klinischer Sicht sind VVS in der Lage, innerhalb kurzer Zeit eine gute Wundgrundgranulation zu erreichen. Unserer Erfahrung nach ist die Therapie sogar dazu geeignet, Defekte mit freiliegendem Knochen bis zu einer Ausdehnung von 2 cm mit Hilfe der ernährenden Wirkung des umgebenden Weichgewebes zu granulieren. Für größere freiliegende Knochenareale ist das System jedoch nicht mehr geeignet, da es zur Austrocknung des Gewebes führt. Bis dato werden VVS in einem großen klinischen Spektrum, von der Chirurgie des Bewegungsapparats über die Viszeralchirurgie bis hin zur Verbrennungsbehandlung, eingesetzt.

Tierexperimentelle Arbeiten geben Hinweise darauf, dass die VVS-Therapie in der Lage ist, die Keimlast in Wunden zu reduzieren. Für diese These gibt es jedoch noch keine klinisch untermauernden Studien [44], [67],

[70], [72]. Herscovici et al. [24] haben eine nichtrandomisierte Studie zur Verwendung eines VVS veröffentlicht (Kinetic Concepts Inc., San Antonio, TX, USA), um seinen Einsatz für traumatologische und orthopädische Patienten zu gewinnen. In ihren Ergebnissen schlussfolgerten sie, dass der Einsatz des VVS kosteneffektiv sei und gleichzeitig die Zahl derjenigen Patienten senke, die einer Lappendeckung bedürften.

Es existieren Berichte über Fälle, in denen ein VVS zur Unterstützung der Behandlung infizierter Kniegelenk-Totalendoprothesen verwendet wurde [46], sowie um Wunden über Sehnen und exponiertem Fremdmaterial zu verschließen [14]. Im Rahmen einer Level-I-Studie zeigten Stannard et al. [59], dass ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Infektionsrate von offenen Frakturen bestehe, je nachdem, ob ein VVS angewandt wurde oder nicht. Im Rahmen einer weiteren Level-I-Studie [3] berichteten dieselben Autoren über reduzierte Wundkomplikationen bei Eingriffen in riskanten Fällen wie dem Pilon tibiale oder der Kalkaneusfraktur.

Update

Mittlerweile existieren Hunderte von Studien, die die Effizienz der VVS-Therapie anhand unterschiedlicher Szenarien dokumentieren. Trotzdem bleiben Arbeiten, die die grundsätzlichen Mechanismen der VVS beschreiben, rar. Webb und Pape [69] haben eine Übersichtsarbeit zu den grundlegenden Mechanismen der VVS verfasst und hypothesisiert, dass minimaler Zug, der die Mitoserate erhöht, Angiogenese und Freisetzung von Wachstumsfaktoren bewirkt. Vor kurzem haben Baldwin et al. [6] gezeigt, dass VVS Endothelzellen dazu stimulieren, Proliferation und Migration zu zeigen, was, wenn auch geringer, unter gleichen Bedingungen ähnliche Auswirkungen auf Fibroblasten hat.

Labler et al. [36] haben eine erhöhte Expression von IL-8 und VEGF in Wunden, die mit VVS behandelt werden, nachgewiesen. Im Rahmen einer Studie, die von einem VVS-Hersteller initiiert wurde, konnten McNulty et al. [42] zeigen, dass die Deckung mit VVS höhere Proliferations- und Migrationsraten sowie geringere Apoptoseraten als Deckung mit Gaze zeigen. Scherer et al. [55] haben gezeigt, dass Zellwachstum mit Unterdrucktherapie in Zusammenhang zu stehen scheint, während die vaskulären Veränderungen durch die Verwendung von Polyurethanschaum alleine reproduziert werden konnten. Kairinos et al. [30] konnten paradoxerweise nachweisen, dass der Druck innerhalb eines Stückes Fleisch durch Anbringen eines VVS erhöht wurde.

Praxis

Tipps und Tricks

Die Vakuumversiegelung stellt eine enorme Weiterentwicklung im Bereich der Wundversorgung dar, ist aber nicht als frühe, definitive Versorgung geeignet.

Bei Explosionsverletzungen bleibt die Rolle des VVS fraglich. Warner et al. [44] konnten in einem kleinen Kollektiv zeigen, dass VVS kostenintensiver sind, mit einer höheren Rate an operativen Revisionen in Zusammenhang stehen und eine höhere Inzidenz an Wundbesiedelung mit Methicillin-resistentem *Staphylococcus aureus* (MRSA) aufweisen, als das bei der Verwendung von antibiotischen Platzhaltern der Fall ist. In einem größeren Kollektiv konnten Pollak et al. [50] zeigen, dass 19% der Patienten, die mit Unterdrucktherapie behandelt wurden, eine Komplikation aufwiesen.

Es wurden auch neue Formen von VVS verwendet, einschließlich eines silberimprägnierten Schwammes [19] und von Systemen, die die Zirkulation antibiotischer Substanzen erlauben [15], [29], [51]. Die Indikationen dieser Techniken sind genauso wie ihre Effektivität noch nicht hinreichend ergründet.

2.5.5 Antibiotikaketten

Antibiotikaketten werden im Bereich offener, kontaminierter Wunden eingesetzt, wenn der Wundverschluss nicht möglich oder nicht gewünscht ist [44], [59]. Antibiotikaketten werden hergestellt, indem Zement aus Polymethylmethacrylat (PMMA) mit hitzestabilen Antibiotika wie Vancomycin oder Tobramycin vermengt wird.

Üblicherweise werden für grob verunreinigte Wunden 2g Vancomycin und 2,4g Tobramycin mit einem Päckchen Zement vermengt. Bevor der Zement aushärtet, werden kleine Portionen von der Dimension 5–10mm geformt. Diese Portionen werden dann wie Perlen auf einem kräftigen nichtresorbierbaren Faden, etwa Stärke No. 5, aufgereiht. Sobald die Portionen ausgehärtet sind, werden sie im Wundgrund platziert. Zur Verbesserung der Haft Eigenschaften wird die Haut zirkulär um die Wunde haftungsfördernd behandelt. Anschließend wird die Wunde mit einer nichtpermeablen Abdeckung versiegelt, was dazu führt, dass antibiotisch angereichertes Exsudat in der Wunde abgesondert und retiniert wird.

Im Laufe der darauffolgenden Tage erhöht sich die antibiotische Konzentration dieses Exsudats auf ein Maß, das durch intravenöse Applikation nicht erreicht werden könnte, sodass das Wundareal von dieser Lösung getränkt wird [41]. Diese Situation sollte etwa sieben Tage belassen werden, bis die definitive Deckung der Wunde erfolgen kann. Längere Liegezeiten können die Gefahr der Hautmazeration erhöhen. Alternativ kann auch ein Platzhalter aus antibiotisch versetztem Zement hergestellt werden, der für die Behandlung infizierter Knochendefekte über eine Dauer von sechs Wochen im Knochen unter verschlossener Weichteildecke verbleibt.

2.5.6 Spannungsblasen

Die Behandlung von Spannungsblasen ist ebenso alt wie die Frakturbehandlung. Spannungsblasen entstehen durch Separation der Epidermis von der Dermis. Blutblasen weisen auf eine tiefreichende Schädigung hin.

Giordano et al. [21] haben die histologische Zusammensetzung dieser Blasen untersucht und einen Unterschied zwischen serösen und blutgefüllten Blasen entdeckt. Abgesehen davon, dass seröse Blasen mehr Epithelzellen enthalten, konnte keine dermale Verletzung im Bereich des Blasenbetts oder des umgebenden Gewebes vorgefunden werden. Obwohl viele Chirurgen ihre eigene Herangehensweise bei der Behandlung von Spannungsblasen haben, konnten Giordano und Koval im Rahmen einer prospektiven Studie zeigen, dass keine Unterschied in der Infektionsrate resultierte, unabhängig davon, ob die Blasen eröffnet und lokal mit Silber-Sulfadiazin behandelt oder in situ belassen wurden [20].

2.6 Rekonstruktive Chirurgie

2.6.1 Zeitpunkt für die Deckung

Es herrscht generelle Übereinkunft darüber, dass traumatische Wunden innerhalb von drei bis fünf Tagen versiegelt werden sollten [5], [8], [12], [25], [32], [37], [39], [40], [71], [73]. Der Einsatz eines VVS ermöglicht zwar eine rasche Wundgrundkonditionierung, eignet sich aber nicht für die rasche definitive Defektdeckung. An vielen Standorten ist diese frühzeitige Deckung aus logistischen Gründen nicht möglich.

2.6.2 Verfahrenswahl

Die „Rekonstruktive Leiter“ ist die visuelle Darstellung eines Konzepts, welches besagt, dass eine Wunde mit der einfachsten Methode, die wahrscheinlich zum Erfolg führt, gedeckt werden sollte. Wenn beispielsweise eine Hauttransplantation eine Wunde erfolgreich decken kann, ist eine freie Lappen nicht adäquat. Eine Version der Rekonstruktiven Leiter ist in ► Abb. 2.8 dargestellt.

Die Rekonstruktive Leiter ist eher ein Konzept als ein Dogma, welches mit der Etablierung neuer Methoden und Techniken immer wieder angepasst wurde [22], [28].

Eine rekonstruktive Leiter ist jedoch nicht als universelles Kochbuch, sondern als Managing Tool für die Weichteildeckung zu verstehen. Vor dem Hintergrund individueller Komorbiditäten des jeweiligen Patienten sowie Vorlieben des jeweiligen Chirurgen kann die dargestellte Leiter nur ein Wegweiser sein. Trotzdem kann sie als Orientierungshilfe bei der Wahl unterschiedlich anspruchsvoller Optionen dienen.

2.6.3 Spalthauttransplantate

Spalthauttransplantate stellen eine weit verbreitete Grundlage der Weichteildeckung dar. Die Technik ihrer Herstellung ist relative einfach zu erlernen und zeigt schnell lohnenswerte Ergebnisse.

Indikation

Jeglicher Defekt mit darunter befindlicher vitaler Muskulatur oder einem gut granulierten Grund eignet sich zur Deckung mittels Spalthauttransplantat. Sehnen mit intaktem Peritendineum können prinzipiell ebenfalls mit einem Spalthauttransplantat gedeckt werden, verlieren dabei aber an Kontraktionsausmaß.

Kontraindikation

Wunden mit freiliegendem Knochen, Fremdmaterial oder einer bloßen Sehne sind für eine Deckung mittels Spalthauttransplantat nicht geeignet.

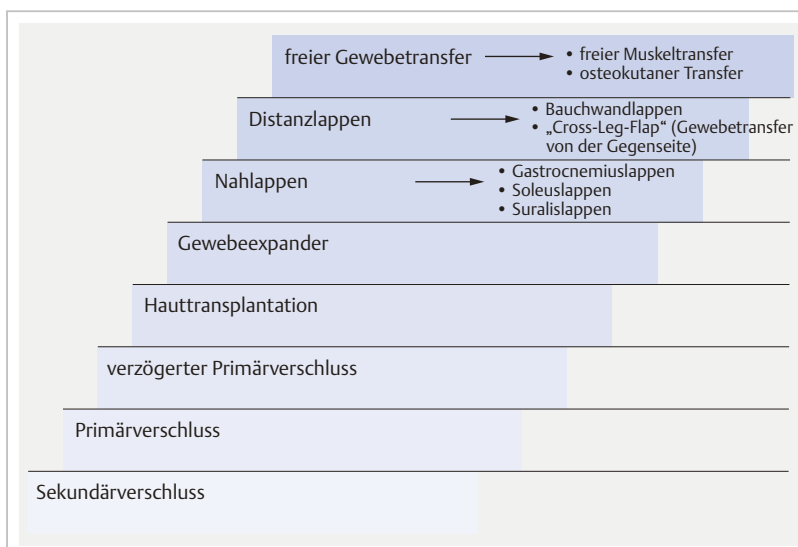


Abb. 2.8 Version einer „Rekonstruktiven Leiter“. Die Komplexität der Techniken und somit die erforderlichen technischen Fertigkeiten nehmen von unten nach oben zu. Das korrekte Vorgehen verbindet den geringstmöglichen Aufwand mit einer gleichzeitig hohen Erfolgsrate.

Chirurgische Technik

Die Wunde sollte durch ausgiebiges Débridement vorbereitet werden. Für den Fall, dass Granulationsgewebe vorhanden ist, sollte es mit Hilfe schabenden Anfrischens und durch das Erzeugen kleiner Blutungen sowie Entfernung des oberflächlichen Bakterienrasens stimuliert werden. Zusätzlich ist ausreichend zu spülen.

Der Oberschenkel stellt die am meisten gebräuchliche Entnahmestelle für Spalthauttransplantate dar. Vor Entnahme sollte die entsprechende Stelle rasiert werden. Hierfür eignet sich der laterale Aspekt des Oberschenkels am besten, wobei auch von den anderen Seiten Transplantate gewonnen werden können. Die Entnahmestelle sollte unversehrt sein, wobei das Ausmaß des Spenderareals mit einem Lineal vermessen wird.

Das Dermatom sollte auf eine Tiefe von etwa 0,04 mm eingestellt werden, wobei dieses Ausmaß dadurch kontrolliert werden kann, dass die Klinge eines 15er Skalpells zwischen Dermatom und Tiefenregler platziert wird. Dabei sollte die Klinge problemlos durchgleiten. Prinzipiell wird die Weite der Klinge zur Entnahme anhand der Defektgröße bestimmt, wobei diese etwas geringer als die Breite des Defekts ausfallen sollte.

Die Entnahmestelle sollte eingeölt werden, wobei während der Entnahme darauf zu achten ist, dass das Transplantat von einem Assistenten mit Greifwerkzeugen unter Zug gehalten wird. Das Dermatom wird noch vor Hautkontakt gestartet und anschließend mit einer leicht geschwungenen Bewegung an der Haut aufgesetzt. Während einer konstanten Vorwärtsbewegung ist der Anpressdruck gleichmäßig auszuüben. Um ein Zerreißen des Transplantats zu verhindern, können Pinzetten als Hilfsmittel bei der Entnahme verwendet werden.

Spalthauttransplantate werden üblicherweise in einem Verhältnis von 1:1,5 dimensioniert, sodass ein Defekt von 10 × 5 cm mit einem Transplantat von 11 × 3 cm Größe gedeckt werden kann, wenn man bedenkt, dass durch die Dehnung des Transplantats zur Erzeugung der benötigten Breite ein Längenverlust eingerechnet werden muss. Das Transplantat sollte mit der epidermalen Seite nach oben appliziert werden, wobei zur Sicherung des verpflanzten Hautstücks viele Möglichkeiten gewählt werden können. In jedem Fall sollten überstehende Ränder entfernt werden, und das Spalthauttransplantat ist durch eine randständige Naht zu sichern.

Entscheidend ist, dass eine Wundauflage verwendet wird, die einerseits sämtlichen Hohlraum unter dem Transplantat eliminiert und andererseits saugende Eigenschaften besitzt, wobei dies mit Textilauflagen oder VVS erreicht werden kann. Das VVS, als Hilfsmittel für die Spalthautverpflanzung eingesetzt [18], [55], erwies sich als kosteneffektiv und erfolgreich für die Integration des Transplantats. In diesem Fall sollte der Schwamm auf einer nichtadhäsiven Wundauflage platziert werden, die wiederum die Wundfläche abdeckt. VVS können allerdings nur bedingt ihre Effizienz ausspielen, wenn sie auf

wenig geeignetem Untergrund, z.B. Muskel, zu liegen kommen, der Scherbewegungen unterhalb des Transplantats erzeugt.

Alternativ kann auf Oberflächen, die wenige Irregularitäten zeigen, ein Textilkissen als Wundauflage verwendet werden. Bei dieser Technik wird eine nicht verschließende Wundauflage appliziert und an den Wundrändern angeklammert. Als Abdeckung für die Wundauflage werden in Öl getränkte Baumwollbällchen verwendet, die Konstruktion wird unter milder Spannung befestigt. In diesem Fall wirken die Baumwollbällchen als Kissen, das konstanten Druck auf das Transplantat ausübt und somit die Anheilung fördert. Im Vergleich führt das VVS zu schnellerer und besserer Einheilung, weshalb ihm, sofern verfügbar, der Vorzug zu geben ist.

Die Entnahmestelle kann auf unterschiedliche Arten versorgt werden, abhängig von der Entnahmetechnik: Fein gewebte Gaze getränkt mit Lidocain/Bupivacain und Epinephrin zeigt gute Erfolge bei der Bekämpfung von Blutungen und Schmerzen, alternativ kann eine jodhaltige Dispersion im Bereich der Entnahmestelle aufgetragen werden. Zur Wundabdeckung werden Kompressen und Mullbinden verwendet.

Nachsorge

Grundsätzlich sollten herkömmliche Verbände im Bereich von Spalthauttransplantaten fünf Tage belassen werden, bei der Verwendung von VVS reichen drei Tage. Die Entnahmestelle sollte nach zwei Tagen frisch versorgt werden, danach kann der Wundgrund mit Hitzelampen oder einem Föhn getrocknet werden. Rückstände der Jodsalbe oder der Verbandsmittel können entfernt werden, sobald das Transplantat epithelialisiert ist.

2.6.4 Gastrocnemiuslappen

Indikation

Der Gastrocnemiuslappen kann dazu verwendet werden, mediale, laterale und anteriore Defekte im Bereich der proximalen Tibia zu decken. Wenn er vom medialen Aspekt der Wade entnommen wird, kann der Lappen zur Versorgung der Region vom oberen Patellapol bis zur Tuberositas tibiae genutzt werden. Bei Entnahme vom lateralen Aspekt der Wade reicht der mögliche Umfang der Deckung weniger weit, da die Fibula umrundet werden muss.

Hinsichtlich der Länge des Muskelbauches existieren erhebliche interindividuelle Unterschiede, bei einigen Patienten kann der muskulotendinöse Übergang proximaler beginnen als bei anderen. Um einen Vergleich zu erhalten, kann am anderen Bein der muskulotendinöse Übergang durch Palpation ermittelt werden. Damit kann geprüft werden, ob die Dimension ausreichend sein wird, um den Defekt zu erreichen.

Kontraindikation

Bei Trümmerfrakturen der Tibia, durch elektrischen Strom verursachten Verletzungen oder schwerer Weichteilschädigung im Bereich der Wade kann der Gastrocnemiuslappen nicht verwendet werden.

Blutversorgung

Jeder der beiden Köpfe des Muskels wird von einer Wadenarterie versorgt, die den Muskel jeweils proximal der Kniekehle erreicht.

Chirurgische Technik

Zur Entnahme eines Gastrocnemiuslappens vom *medialen Aspekt* der Wade wird der Patient zunächst auf dem Rücken gelagert. Bevor die Deckung erwogen wird, sollte

ein gründliches Débridement der Wunde erfolgen. Hierbei wird nekrotisches und purulentes Material entfernt. In Fällen tiefreichender Infektionen können antibiotische Spacer unter dem Lappen platziert werden. Vor Beginn des Eingriffs ist ein Tourniquet anzubringen. Dann wird eine längliche Inzision zum muskulotendinösen Übergang der Achillessehne geführt, beginnend 2 cm proximal der Kniekehle (► Abb. 2.9). Die Position der Schnittführung befindet sich exakt zwischen den posterioren Aspekten der Tibia und der Wade.

Zur Dissektion des Subkutangewebes wird die Präparierschere verwendet, wobei die V. saphena parva und der N. suralis gezielt geschont werden müssen. Anschließend wird die Faszie inzidiert. Nun kann die Verschiebeschicht zwischen den Mm. gastrocnemius et soleus einfach identifiziert und stumpf präpariert werden. Die nun erscheinenden Perforansarterien, die den M. soleus

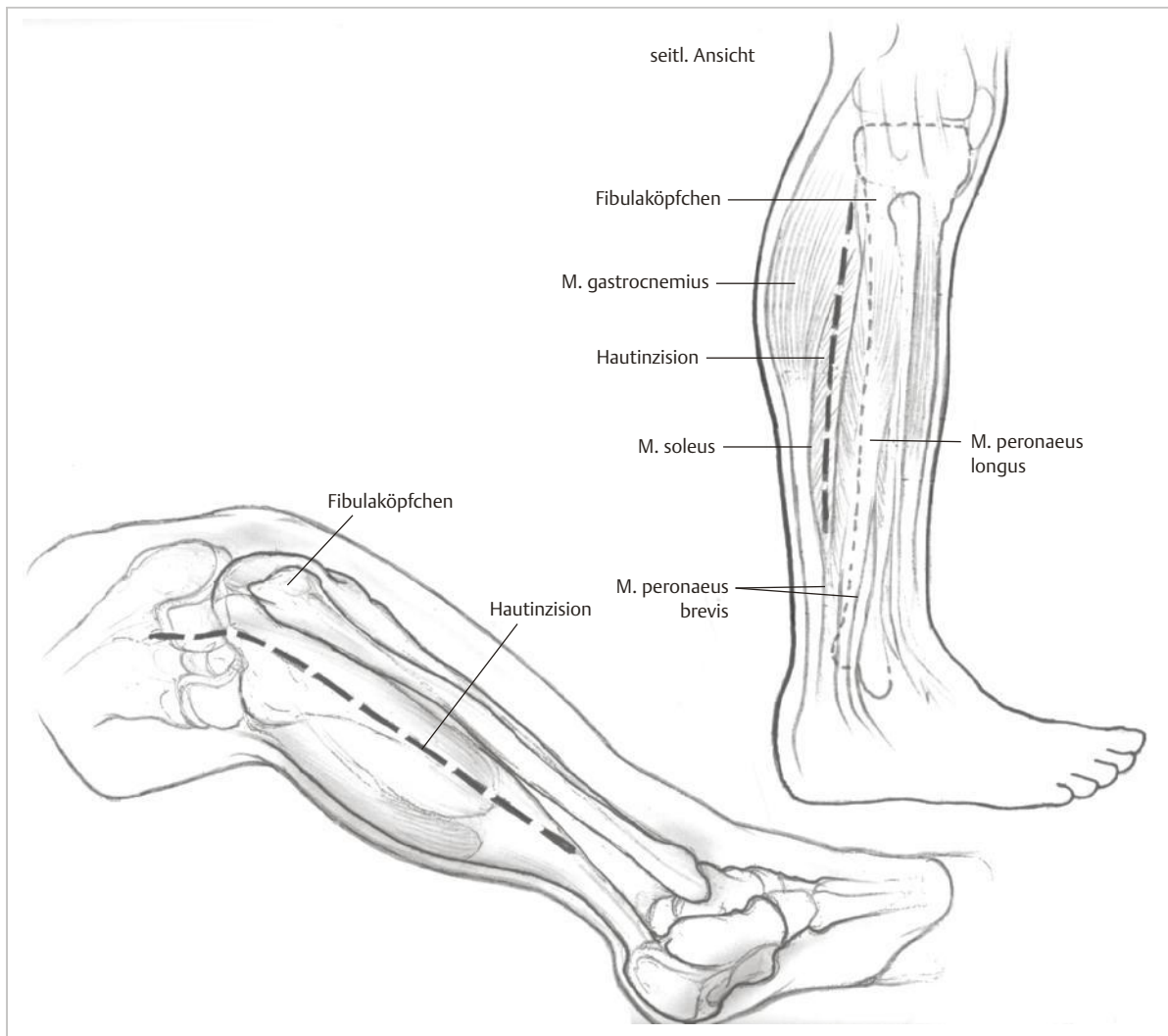


Abb. 2.9 Gastrocnemiuslappen. Hautinzision.

durchdringen und den M. gastrocnemius versorgen, zeigen die Trennung der beiden Köpfe des M. gastrocnemius an und sollten erhalten werden. Die Verschiebeschicht zwischen den beiden Muskeln wird bis zur ihrer Vereinigung am Achillessehnenursprung weiterverfolgt. Dann wird an dieser Stelle die mediale Portion des M. gastrocnemius transversal abgetrennt (► Abb. 2.10).

Durch stumpfe Präparation kann der Muskel entlang seines Faserverlaufes bis proximal des Kniegelenks gespalten werden. Der N. tibialis, der die Unterschenkelarterie begleitet und in den M. gastrocnemius einstrahlt, wird stumpf in seine Fasern aufgetrennt, um das Auftreten und die Schwere postoperativer Krämpfe zu reduzieren. Dann wird am proximalen Ende der Längsinzision ein transversaler Schnitt auf den Defekt zugeführt, damit der entstandene Lappen unter die Hautbrücke in das Defektareal geschwenkt werden kann. Schließlich wird er mit resorbierbarem Fadenmaterial eingenäht. Die Entnahmestelle wird mit einer Drainage versorgt und vernäht, während die Verpflanzungsstelle mit einem Spalthauttransplantat bedeckt und mit einem VVS versiegelt wird.

Bei der Entnahme eines Gastrocnemiuslappens vom *lateralen Aspekt* der Wade wird mit einer ähnlichen Technik

verfahren, allerdings muss dabei ganz besonders auf den N. peroneus geachtet werden. Zusätzlich muss der Lappen um den Fibulakopf geschwungen werden können. Diese beiden Faktoren lassen die Entnahme des Lappens vom lateralen Aspekt als eher weniger praktikabel erscheinen. Um seine Reichweite zu erhöhen, sollte der Lappen schließlich tief an den N. peroneus heran präpariert werden, das kann das Risiko für die Schädigung des Nerven zusätzlich erhöhen.

Nachsorge

Patienten, die einen Rotationslappen erhalten haben, zeigen oftmals postoperative Krampfneigungen, weshalb für die ersten zwei bis drei postoperativen Tage ein Muskelrelaxans, z.B. Diazepam, verordnet werden sollte. Das VVS sollte drei Tage nach dem Eingriff entfernt und durch einen trockenen Wundverband ersetzt werden. Falls Knochendefekte adressiert oder Antibiotikaträger entfernt werden müssen, kann der Lappen nach sechs Wochen unter Schonung des Muskelstiels angehoben werden. Nach einem Jahr sollten genügend Gefäßkollateralen vorhanden sein, um den Lappen mitsamt Muskelstiel anzu-

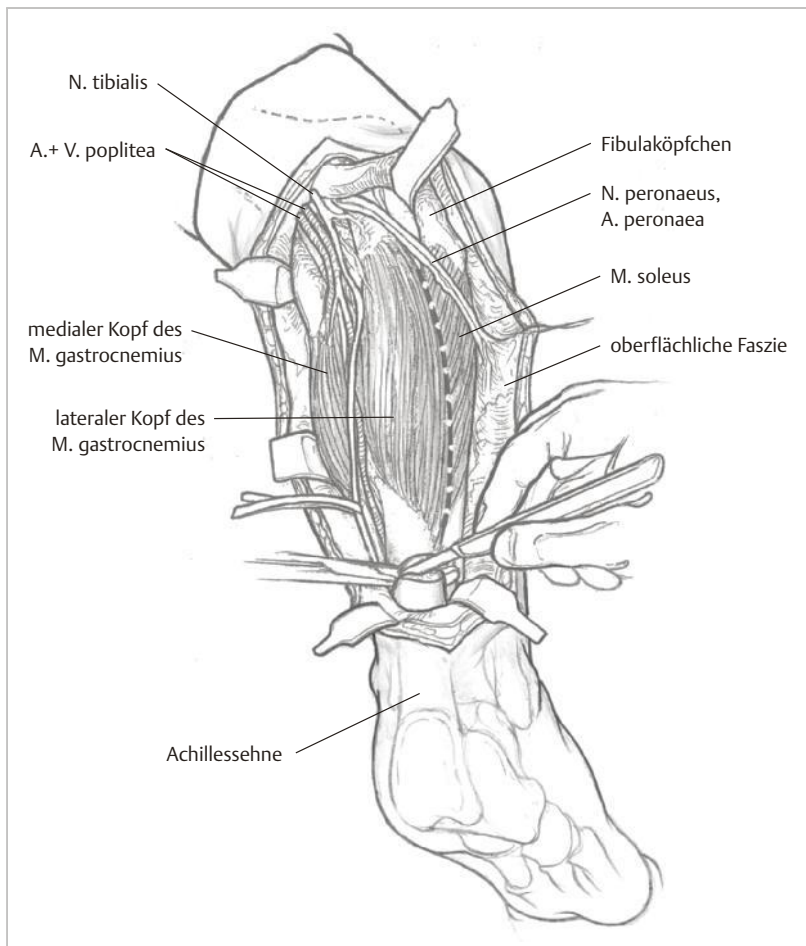


Abb. 2.10 Gastrocnemiuslappen. Darstellung des neurovaskulären Bündels während der Präparation.

heben. Trotzdem sollte diese Manöver, wenn möglich, gegenüber dem Muskelstiel vorgenommen werden.

2.6.5 Soleuslappen

Indikationen

Der Soleuslappen kann dazu verwendet werden, Defekte im Bereich des mittleren Tibiadrittels zu decken.

Kontraindikation

Der Soleuslappen ist ungeeignet bei Trümmerfrakturen und Wunden, die durch elektrischen Strom verursacht wurden.

Blutversorgung

Der M. soleus wird von einem proximalen, kräftigen Ast aus den Aa. tibialis posterior/peronea versorgt sowie von einigen kleineren Perforansgefäßen aus deren distalen Anteilen. Das kaliberstarke proximale Gefäß ist für den Muskel überlebenswichtig.

Chirurgische Technik

Nach Blutleerung des Beins wird ein Tourniquet angelegt. Dann wird eine längliche Inzision zum muskulotendinösen Übergang der Achillessehne geführt, beginnend 2 cm distal der Kniekehle. Die Position der Schnittführung befindet sich exakt zwischen den posterioren Aspekten der Tibia und der Wade (► Abb. 2.11).

Zur Dissektion des Subkutangewebes wird die Präparierschere verwendet, wobei die V. saphena parva und der N. suralis gezielt geschont werden müssen, anschließend wird die Faszie inzidiert. Nun kann die Verschiebeschicht zwischen den Mm. gastrocnemius und soleus einfach identifiziert und stumpf präpariert werden, dabei kann der M. soleus separiert werden. Nun werden Perforansarterien sichtbar, die den Muskel versorgen und gleichzeitig seinen medialen und lateralen Anteil trennen. Die Verschiebeschicht zwischen den beiden Muskeln wird bis zur ihrer Vereinigung am Achillessehnenursprung weiterverfolgt (► Abb. 2.12).

Unter Zuhilfenahme einer Gefäßklemme und eines Fingers wird der Muskel in seine beiden Anteile längsgespalten, dann wird der mediale Anteil im distalen Bereich quer mit dem Messer durchtrennt. Unter stumpfer Präpa-

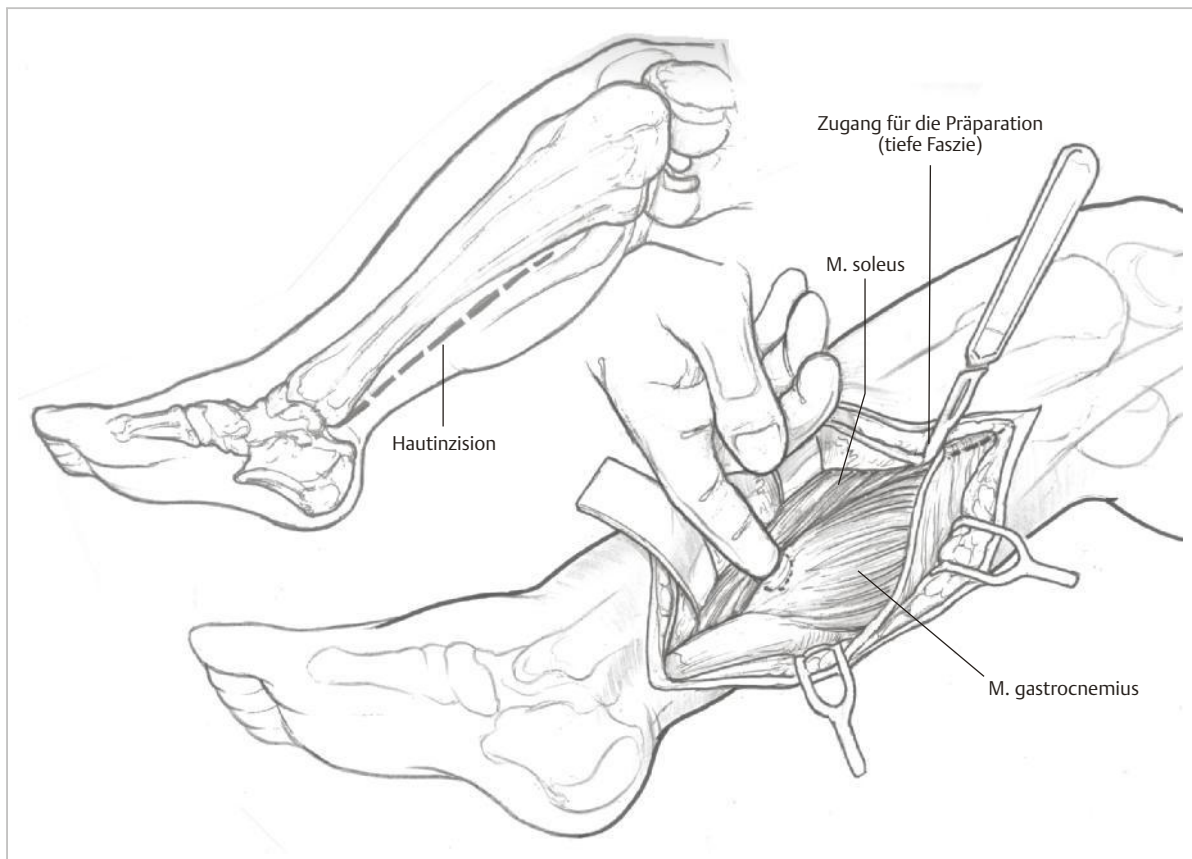


Abb. 2.11 Soleuslappen. Hautinzision und Präparation für einen Soleuslappen.

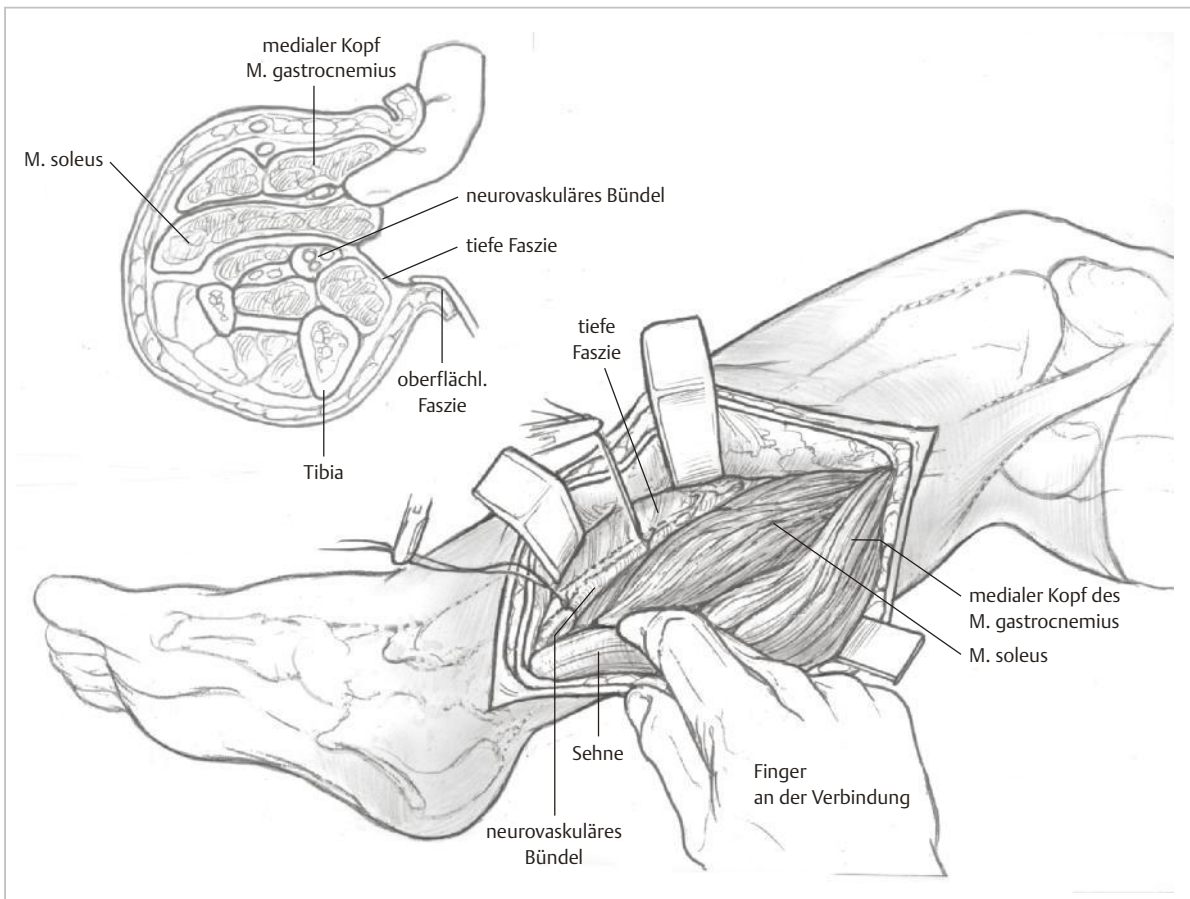


Abb. 2.12 Soleuslappen. Darstellung der Verschiebeschicht zwischen den Mm. gastrocnemius et soleus.

ration kann die Spaltung des Muskels dann bis proximal der Kniekehle fortgesetzt werden, dann wird der Muskelbauch in Richtung des Defekts geschwenkt. Anschließend werden der Lappen mit resorbierbarem Fadenmaterial eingenäht, die Entnahmestelle über einer Drainage verschlossen und der Lappen mit einem VVS versiegelt.

Nachsorge

Direkter Druck auf den Lappen sollte durch Pelottierung vermieden werden. Patienten zeigen oftmals postoperative Krampfneigungen, weshalb für die ersten zwei bis drei postoperativen Tage ein Muskelrelaxans, z.B. Diazepam, verordnet werden sollte.

2.6.6 Axialer oder frei geformter fasziokutaner Lappen

Indikation

Dieser Lappen ist geeignet für Defekte, die kleiner als 3 cm sind, bei freiliegendem Knochen, Fremdmaterial oder Sehne ohne Umhüllung.

Kontraindikation

Dieser Lappen ist nicht geeignet für Defekte angrenzender Areale oder solcher Gebiete, in denen der Grund unterhalb der Entnahmestelle nicht mit Spalthaut versorgbar ist.

Chirurgische Technik

Zuerst wird die Wunde gründlich débridiert und konditioniert. Der Lappen wird nach Abschätzung seiner Passgenauigkeit in den Defekt zurechtgerichtet, dafür kann eine Schablone verwendet werden. Die Dimension des Lappens entspricht der Breite des Defekts, sollte aber

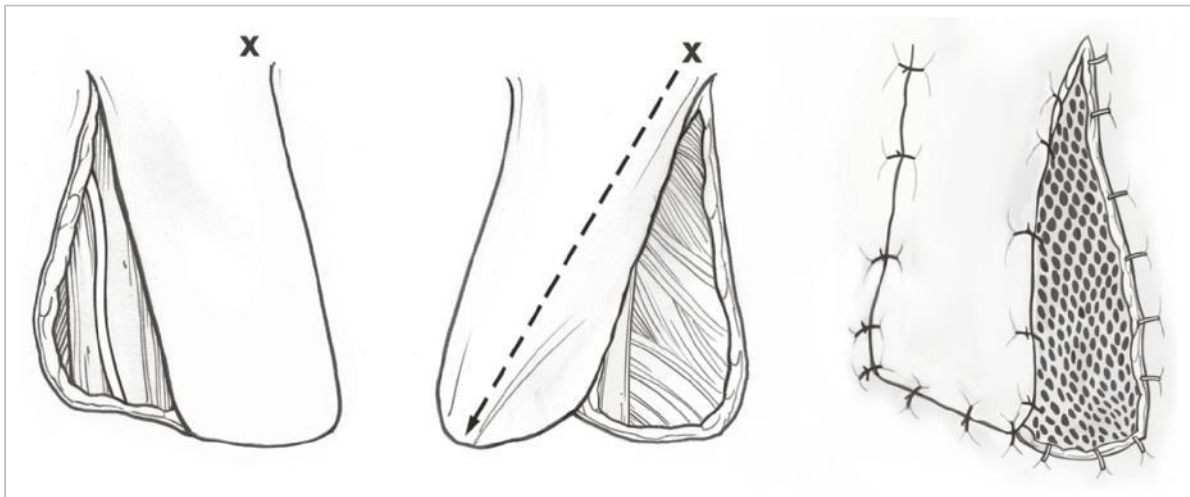


Abb. 2.13 Axialer fasziokutaner Lappen. Zu beachten sind der Umschlagpunkt (linkes Bild), der Weichteildefekt (mittleres Bild) und die Form des Lappens (rechtes Bild).

die dreifache Länge aufweisen. Der Lappen sollte direkt neben dem Defekt liegen und sich etwas darüber hinaus in seiner länglichen Ausdehnung erstrecken (► Abb. 2.13). Mithilfe einer sterilen Schablone kann das Ausmaß der notwendigen Ausdehnung genauer bestimmt werden. Der Wendepunkt des Lappens ist der proximalste Teil seines benachbarten, vertikalen Teils.

Die Hautinzision erfolgt direkt bis an die tiefe Faszie, die inzidiert wird, sodass der Lappen durch vorsichtiges Unterminieren der Faszie entnommen werden kann. Der Lappen wird in den Defekt rotiert und mit nichtresorbierbarem Material fixiert. Die Entnahmestelle wird mit einem Spalthauttransplantat versorgt und mit einem VVS versiegelt.

Nachsorge

Das VVS wird für drei Tage belassen und danach ein trockener Wundverband angebracht. Die Fadenentfernung erfolgt nach 14 Tagen.

2.6.7 Zweistieliger Lappen

Indikation

Dieser Lappen ist geeignet für die Deckung von Defekten, die freiliegenden Knochen oder Fremdmaterial beherbergen, üblicherweise wird er im diaphysären Bereich verwendet.

Kontraindikation

Der Lappen ist nicht geeignet für Areale, die sich neben geschädigter Haut befinden oder an Stellen, an denen der Wundgrund im Bereich der Entnahmestelle des Lappens

nicht durch ein Spalthauttransplantat versorgt werden kann. Zusätzlich sollte dieser Lappen nicht im Bereich von Gelenken verwendet werden.

Chirurgische Technik

Ähnlich wie beim zuvor beschriebenen fasziokutanen Lappen wird auch bei der Verwendung dieses Lappen die Verschiebeschicht zwischen der tiefen Faszie und dem darunterliegenden Gewebe genutzt, um die Möglichkeit des Schwenkens in die gewünschte Defektzone zu schaffen. Zu Beginn wird eine Linie parallel zur Längsachse der Gliedmaße gezogen, die in einem Abstand von 3–5 cm anterior oder posterior zum Rand der Defektzone gesetzt wird (► Abb. 2.14).

Es ist darauf zu achten, dass der Wundgrund unterhalb der Entnahmestelle des Lappens genügend Blutversorgung zur Ernährung eines Spalthauttransplantats erhält. Die Inzision soll auf das Zentrum des Defekts geführt werden und zumindest das dreifache Ausmaß der Distanz zwischen Wundrand und Inzision aufweisen. Jetzt wird der Schnitt kräftig bis zur tiefen Faszie gesetzt, diese wird inzidiert und der Lappen vorsichtig unterminiert. Der Lappen wird nun vorsichtig rotiert und mit Nylonfäden im Defekt fixiert. Zur Deckung der Entnahmestelle wird ein Spalthauttransplantat verwendet, die Versiegelung erfolgt mit einem VVS.

Nachsorge

Das VVS wird für drei Tage belassen und danach ein trockener Wundverband angebracht. Die Fadenentfernung erfolgt nach 14 Tagen.

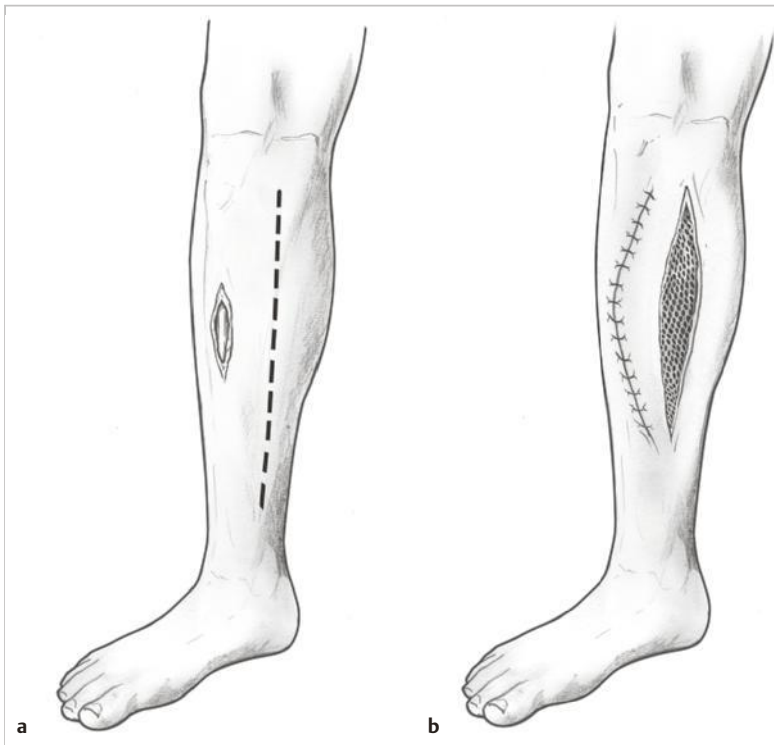


Abb. 2.14 Zweistieliger Lappen.

Chirurgische Technik.

a Defekt und Orientierung der Inzision, die parallel zur Längsachse der Extremität geführt wird.

b Ergebnis.

2.6.8 Suralislappen

Indikation

Der Suralislappen ist geeignet für Läsionen von einer Größe von ca. 10×15 cm im Bereich des distalen Drittels der unteren Extremität, wobei der Anwendungsbereich bis zu Defektzonen im Bereich der Metatarsalknochen erweitert werden kann.

Kontraindikation

Der Lappen ist bei einem fehlenden sonografischen Strömungssignal der A. fibularis nicht geeignet.

Chirurgische Technik

Der Patient wird in Bauchlage positioniert, hierbei muss besonders auf die richtige Position zur Vermeidung von Lagerungsschäden geachtet werden. Dann wird der Defekt gründlich débridiert und von Eiter und Verunreinigungen befreit.

Zur Identifizierung der A. fibularis wird das Schallgerät zu Hilfe genommen. Das distale Perforansgefäß, das konstant 4 cm proximal und 1–2 cm dorsal der Spitze des Malleolus lateralis liegt, dient als Schwenkpunkt für den Lappen. Weitere Perforansgefäße werden ebenfalls mit Ultraschall identifiziert und liegen etwa 3–4 cm entfernt. Die Lokalisation der Perforansgefäße hilft beim Auffinden der Fibulararterie, dann wird eine Linie entlang des Ver-

laufs der Arterie gezogen. 2 cm oberhalb des distalsten Perforansgefäßes wird ein Lineal platziert, das dann vorsichtig bis zum am nächsten liegenden Punkt des Defekts angelegt wird. Die gemessene Länge entspricht der benötigten Länge des Stiels, um den Defekt zu adressieren. Nun wird nochmals eine Linie entlang des Verlaufs der Fibulararterie gezogen, ausgehend vom gleichen Punkt wie zuvor, um eine Referenzierung zu erhalten. Jetzt werden Länge und Breite des Defekts vermessen, dann wird ein Hautstück angezeichnet, das etwa 25 % größer ausfällt als der Defekt. Diese Maßnahme soll einer etwaigen Schrumpfung des Lappens vorbeugen.

Die untere Extremität wird nun exsanguiniert und ein Tourniquet angelegt. Die Hautinzision wird an der angezeichneten Stelle gesetzt und zur Präparation des Subkutangewebes wiederum die Präparierschere benutzt. Jetzt kommt das neurovaskuläre Bündel zur Ansicht, das zwischen Subkutangewebe und Achillessehne liegt (► Abb. 2.15).

Während des gesamten Vorganges muss besonders darauf geachtet werden, den Stiel zu erhalten. Zu Präparation der Stiele wird eine feine Schere verwendet, wobei ein Abstand von etwa 2 cm zu den Stielen eingehalten wird (► Abb. 2.16). Als nächstes werden eine Gefäßklemme unterhalb der Faszie und dort ein Vessel Loop platziert. Die Faszie wird dann parallel zum neurovaskulären Bündel inzidiert, wobei ein etwa 2 cm Polster um das Bündel belassen wird. Auf diese Weise wird vorwärts präpariert, bis der markierte Hautlappen erreicht ist. Von

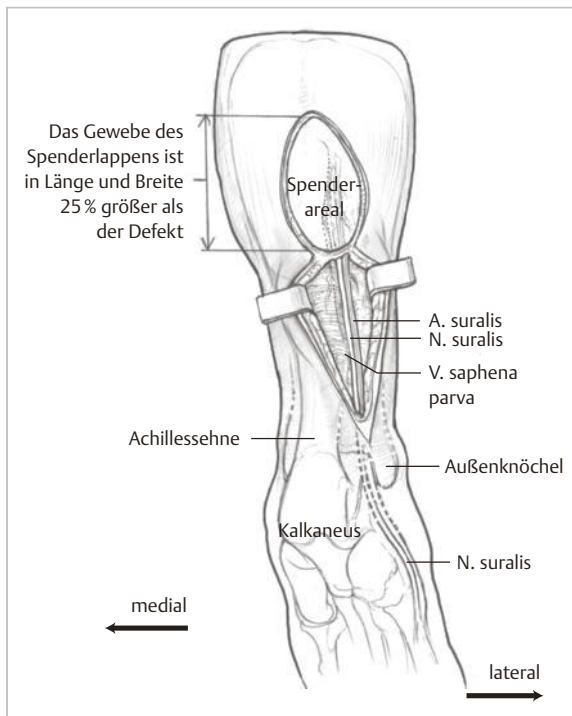


Abb. 2.15 Suralislappen. Darstellung des neurovaskulären Bündels während der Präparation.

drei bis vier Segmentarterien, die aus der tiefen Faszie oder dem Muskelseptum hervortreten und in die Fibularterie münden, sollte zumindest eine erhalten werden.

Praxis

Tipps und Tricks

Die Scheu vor dem Débridement klar nekrotischen Gewebes ist unberechtigt, in jedem Fall verbleibt ein Defekt, der gedeckt werden muss. Nach adäquatem Débridement kann der Patient einem plastischen Chirurgen vorgestellt werden. Eine belassene biologische Deckung fungiert oft als Infektionsnische!

Die Präparation des Hautlappens erfolgt mit dem Skalpell, das bis an die tiefe Faszie herangeführt wird. Üblicherweise existieren zwei Venen, die der Lappen nach inferior entlässt, die dann in die Fibulavenen münden. Falls nötig, müssen diese Venen ligiert werden, allerdings sollten die V. saphena parva und ihr Anschluss zum fibularen System geschont werden. Es muss darauf geachtet werden, dass der Hautlappen nicht retrahiert oder unterminiert wird. Die tiefe Faszie wird mit einer Schere gespalten, nun sollte im proximalen zentralen Lappenanteil das neurovaskuläre Bündel darstellbar sein. Es gibt Fälle, in denen der

Fibulanerv von der Arterie getrennt in einer tieferen Schicht verläuft. Auf diesen Fall sollte besonders geachtet werden, da es sich um eine anatomische Regelvariante handelt.

Sobald der Lappen vom darunterliegenden Gewebe mobilisiert ist, kann er in die Defektzone geschwenkt werden. Um die Entnahmestelle mit der Defektzone zu verbinden, kann eine Quer- oder Schräginzision gesetzt werden. Obwohl der Schnitt nicht zwingend bis an die tiefe Faszie heranreichend muss, kann es von Vorteil sein, dies zu tun, wobei der Lappen nicht durch Unterminieren mobilisiert werden sollte. Oft findet sich ein Septum, das die tiefe Faszie, welche Teil des Lappens ist, mit der Achillessehne bzw. ihrer Scheide verbindet. Diese Septa müssen im distalen Bereich der Stiellinzision gespalten werden, da sie Zug ausüben können und so die Blutversorgung beeinträchtigen. Auch in diesem Fall muss darauf geachtet werden, dass das distalste Perforansgefäß nicht durchtrennt wird.

Ein monofiler Faden der Stärke 3,0 kann dazu verwendet werden, den Lappen am Grund des Defekts zu fixieren, um dort den Knochen zu decken. Es ist nicht zu erwarten, dass die Dicke des Lappens der Tiefe des Defekts entspricht, weshalb die Wundränder nicht sichtbar werden. Nichtsdestotrotz kann durch die Deckung des Knochens mit der Faszie eine dichte Situation erreicht werden. Sollte die Haut gewaltvoll readaptiert werden, kann eine Nekrose des Lappens resultieren. Die Inzision im Bereich des Lappenstiels wird mit einem Vicrylfaden der Stärke 2,0 verschlossen und die Entnahmestelle mit einem Spalthauttransplantat versorgt.

Der wichtigste Aspekt bei Verwendung eines Suralislappens ist das Vermeiden jeglichen Drucks auf den Gefäßstiel. Durch die folgende Technik können Druckschäden weitgehend vermieden werden:

- Den Gefäßstiel, der entweder mit Spalthaut oder ohne versorgt ist, mit einer nichthaftenden Wundauflage bedecken.
- Eine antiseptische Auflage, z. B. jodhaltig, an der Stiellinzision platzieren.
- Das Spalthauttransplantat ringförmig um den Gefäßstiel anbringen, um Druck zu vermeiden.
- Abdichtung mittels VVS zur Förderung der Einheilung

Schlussendlich werden Kompressen oder Watte in Kombination mit einem Pflasterverband zur Ruhigstellung verwendet. Alternativ kann die gesamte Wundregion mit einem Fixateur externe ruhiggestellt werden, wobei auf Freilagerung des Fußes geachtet werden muss.

Eine alternative Technik, um einen fasziokutanen Lappen zu erzeugen, besteht darin, nur die Faszie samt Arterie zu entnehmen. Mit anderen Worten handelt es sich um das gleiche Prinzip wie bei der Deckung mit einem fasziokutanen Lappen, nur dass der Defekt direkt mit Faszie allein versorgt wird. Zusätzlich sollte die Versorgung mit einem Spalthauttransplantat erfolgen und ein VVS

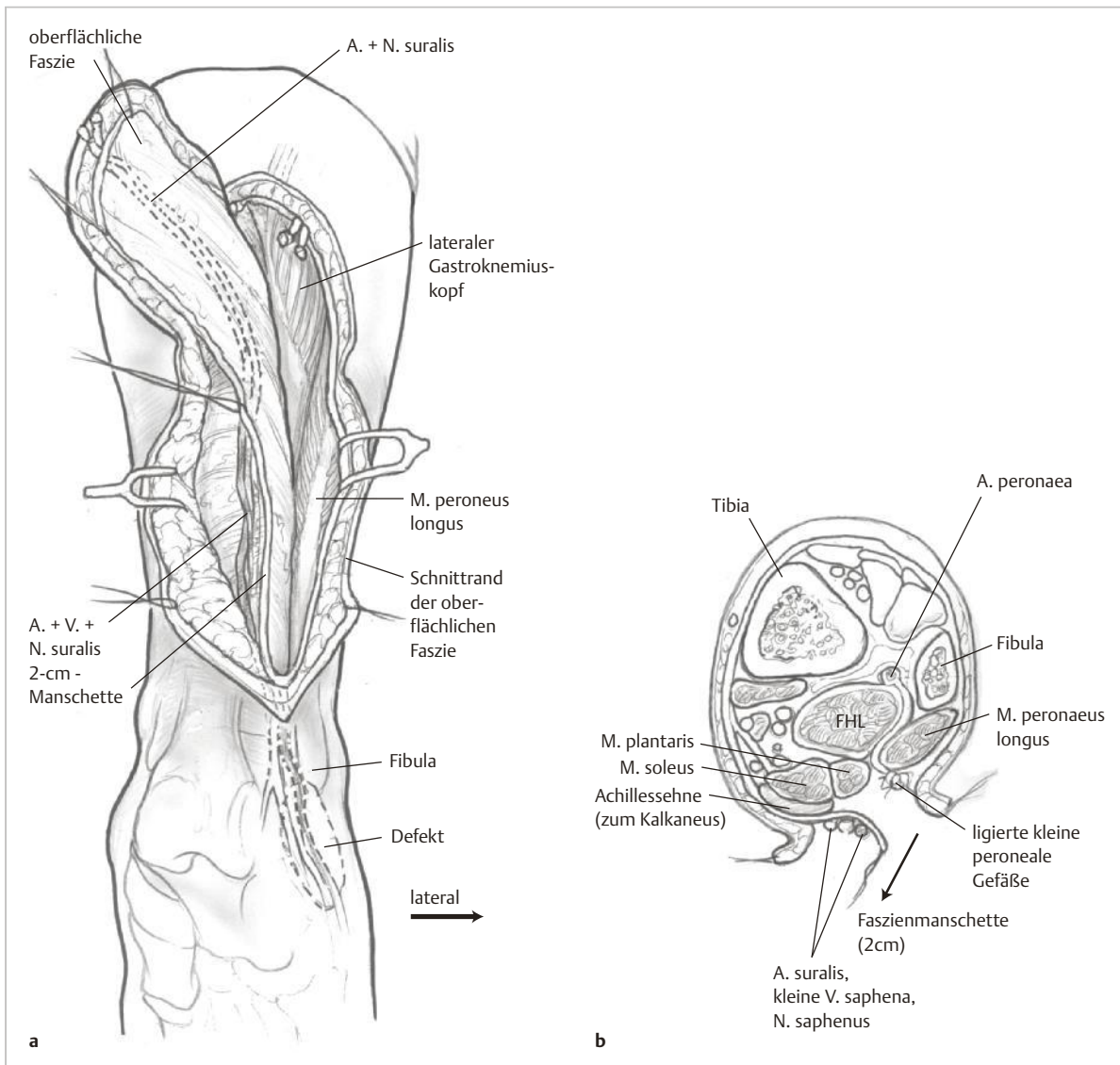


Abb. 2.16 Suralislappen. Präparation des Lappenstiels.

a Ansicht von dorsal.

b Querschnitt.

zur Versiegelung verwendet werden. Alternativ kann die Deckung mit Spalthaut nach Granulation der Faszie erfolgen. Ein besonderes Augenmerk muss auch hier auf die Vermeidung von Druck im Bereich des Gefäßstiels gelegt werden.

Nachsorge

Das Bein sollte für zwei Wochen hochgelagert und entlastet werden. Venöser Stau im Bereich des Lappens ist anfangs normal, weil der venöse Abfluss anfangs noch beeinträchtigt sein kann, in den meisten Fällen verbleibt

aber ein vitaler Lappen. Besonderes Augenmerk muss auf die Ränder des Lappens gerichtet werden, hier sollten keine Drainagen liegen und eine gründliche Versiegelung muss vorhanden sein.

Die Epithelialisierung des Fettgewebes nimmt zwei bis drei Monate in Anspruch. Im Laufe der Zeit dünnt das Transplantat aus, was das Tragen normalen Schuhwerks ermöglicht. Im Regelfall schrumpft das Transplantat auf etwa 50%, was es zu einer guten Wahl für die Gegend des Sprunggelenks und des Fußes macht.

2.6.9 Andere Optionen zur Deckung

Andere Optionen beinhalten freien Gewebetransfer sowie freie Lappen und gestielte Lappen, diesbezüglich bieten zahlreiche Zeitschriften und Bücher detaillierte Informationen. Für den freien Gewebetransfer ist eine mikrochirurgische Ausbildung vonnöten, weshalb Chirurgen, deren Repertoire dieses Kompetenz nicht umfasst, Kontakt zu einem Plastiker unterhalten sollten, der in den 10–20 % der Fälle, die mikrochirurgische Fähigkeiten erfordern, eine Versorgung gewährleisten kann. An einigen Kliniken sind plastische Chirurgen innerhalb eines Zeitfensters von etwa drei bis fünf Tagen verfügbar, in anderen Häusern existieren diesbezüglich weniger Möglichkeiten.

2.6.10 Ergebnisse

Vor dem Hintergrund eines kompletteren Grundverständnisses der Hautdurchblutung werden ständig neue Lappentechniken entwickelt [38], [48], [54], [56], [66], [74]. Durch die Kenntnis der Angiosome sind Chirurgen in der Lage, Lappen individuell zu planen, dieser Trend hat zu einem verringerten Bedarf an mikrochirurgischen Interventionen geführt und hat vermutlich auch die Dauer bis zur definitiven Versorgung verringert. Leider werden die beschriebenen Techniken im Rahmen der chirurgischen Ausbildung noch stiefmütterlich behandelt, weshalb Weichteildefekte nach wie vor zu spät und/oder inadäquat versorgt werden. Diesbezüglich sollte in der Zukunft auf eine bessere Ausbildung und die Möglichkeit zur fachlichen Weiterentwicklung geachtet werden.

In den letzten zehn Jahren sind Hunderte von Fallberichten über unterschiedliche Arten der Weichteildeckung veröffentlicht worden, wobei fast jeder eine hohe Erfolgsrate bei der Deckung frischer Defekte ergibt. Es wird größtenteils über fasziokutane, Rotations- oder freie Lappen berichtet. Diesbezüglich erfolgt leider größtenteils eher eine Beschreibung über den Zeitpunkt der Einheilung, den Zeitpunkt der Rückkehr in den beruflichen Alltag oder die Lebensqualität der Patienten, anstatt einer Darstellung über den Heilungsverlauf des Lappens selbst.

Nur wenige Arbeiten befassen sich mit den funktionellen Ergebnissen. So hat ein großer Lappen im Bereich des Sprunggelenks oder des Fußes z. B. große Auswirkungen auf einen Patienten, der regelmäßig geschlossenes Schuhwerk trägt. Nichtsdestotrotz scheinen diese Lappen stabiler zu sein als fasziokutane Lappen, wobei es auch hier nur wenige Studien zu finden gibt, die dem Chirurgen eine diesbezügliche Entscheidungshilfe anbieten. Rodriguez et al. [52] konnten bei Patienten, die mit kurzen muskuloskelettalen Bewertungsskalen getestet wurden, keinen Unterschied zwischen der Versorgung mit freien anterolateralen Unterschenkellappen und freien Muskellappen zeigen. Harry et al. [23] konnten trotz der Tatsache, dass fasziokutane Lappen eine höhere Gefäßdichte als freie Muskellappen aufweisen, zeigen, dass Frakturen,

die mit Muskellappen gedeckt werden, schneller heilen als solche, die mit fasziokutanen Lappen versorgt werden.

Obwohl es in der Chirurgie der Extremitäten zahlreiche Methoden zur Weichteildefektversorgung gibt, zeigen nur wenige Studien einen Vorteil einer Methode gegenüber einer anderen auf. Diesbezüglich bedarf es noch weitergehender Überlegungen.

2.7 Literatur

- [1] Agel J, Evans AR, Marsh JL et al. The OTA open fracture classification: a study of reliability and agreement. *J Orthop Trauma* 2013; 27: 379–384, discussion 384–385
- [2] Al-Arabi YB, Nader M, Hamidian-Jahromi AR, Woods DA. The effect of the timing of antibiotics and surgical treatment on infection rates in open long-bone fractures: a 9-year prospective study from a district general hospital. *Injury* 2007; 38: 900–905
- [3] Attinger C, Cooper P. Soft tissue reconstruction for calcaneal fractures or osteomyelitis. *Orthop Clin North Am* 2001; 32: 135–170
- [4] Attinger CE, Evans KK, Bulan E et al. Angiosomes of the foot and ankle and clinical implications for limb salvage: reconstruction, incisions, and revascularization. *Plast Reconstr Surg* 2006; 117 (7, Suppl): 261–293
- [5] Baechler MF, Groth AT, Nesti LJ, Martin BD. Soft tissue management of war wounds to the foot and ankle. *Foot Ankle Clin* 2010; 15:113–138
- [6] Baldwin C, Potter M, Clayton E et al. Topical negative pressure stimulates endothelial migration and proliferation: a suggested mechanism for improved integration of Integra. *Ann Plast Surg* 2009; 62: 92–96
- [7] Berman SS, Schilling JD, McIntyre KE et al. Shoelace technique for delayed primary closure of fasciotomies. *Am J Surg* 1994;167:435–436
- [8] Breugem CC, Strackee SD. Is there evidence-based guidance for timing of soft tissue coverage of grade III B tibia fractures? *Int J Low Extrem Wounds* 2006; 5: 261–270
- [9] Brown KV, Walker JA, Cortez DS et al. Earlier debridement and antibiotic administration decrease infection. *J Surg Orthop Adv* 2010; 19: 18–22
- [10] Brumback RJ, Jones AL. Interobserver agreement in the classification of open fractures of the tibia. The results of a survey of two hundred and forty-five orthopaedic surgeons. *J Bone Joint Surg Am* 1994; 76: 1162–1166
- [11] Caschman J, Blagg S, Bishay M. The efficacy of the A-V Impulse system in the treatment of posttraumatic swelling following ankle fracture: a prospective randomized controlled study. *J Orthop Trauma* 2004; 18: 596–601
- [12] Choudry U, Moran S, Karacor Z. Soft-tissue coverage and outcome of Gustilo grade IIIB midshaft tibia fractures: a 15-year experience. *Plast Reconstr Surg* 2008; 122: 479–485
- [13] Clemens MW, Attinger CE. Angiosomes and wound care in the diabetic foot. *Foot Ankle Clin* 2010; 15: 439–464
- [14] DeFranzo AJ, Argenta LC, Marks MW et al. The use of vacuum-assisted closure therapy for the treatment of lower-extremity wounds with exposed bone. *Plast Reconstr Surg* 2001; 108: 1184–1191
- [15] D'Hondt M, D'Haeninck A, Dedrye L et al. Can vacuum-assisted closure and instillation therapy (VAC-Instill therapy) play a role in the treatment of the infected open abdomen? *Tech Coloproctol* 2011; 15: 75–77
- [16] Estebe J-P, Davies JM, Richebe P. The pneumatic tourniquet: mechanical, ischaemia-reperfusion and systemic effects. *Eur J Anaesthesiol* 2011; 28: 404–411
- [17] Farouk O, Krettek C, Miclau T et al. Minimally invasive plate osteosynthesis: does percutaneous plating disrupt femoral blood supply less than the traditional technique? *J Orthop Trauma* 1999; 13: 401–406

- [18] Genecov DG, Schneider AM, Morykwas MJ et al. A controlled sub-atmospheric pressure dressing increases the rate of skin graft donor site reepithelialization. *Ann Plast Surg* 1998; 40: 219–225
- [19] Gerry R, Kwei S, Bayer L, Breuing KH. Silver-impregnated vacuum-assisted closure in the treatment of recalcitrant venous stasis ulcers. *Ann Plast Surg* 2007; 59: 58–62
- [20] Giordano CP, Koval KJ. Treatment of fracture blisters: a prospective study of 53 cases. *J Orthop Trauma* 1995; 9: 171–176
- [21] Giordano CP, Koval KJ, Zuckerman JD, Desai P. Fracture blisters. *Clin Orthop Relat Res* 1994; 307: 214–221
- [22] Giordano V, Napoli S, Quercioli F et al. The solar system model for the reconstructive ladder. *Plast Reconstr Surg* 2011; 128: 336–337, author reply 337–338
- [23] Harry LE, Sandison A, Pearce MF et al. Comparison of the vascularity of fasciocutaneous tissue and muscle for coverage of open tibial fractures. *Plast Reconstr Surg* 2009; 124: 1211–1219
- [24] Herscovici D, Sanders RW, Scaduto JM et al. Vacuum-assisted wound closure (VAC therapy) for the management of patients with high-energy soft tissue injuries. *J Orthop Trauma* 2003; 17: 683–688
- [25] Hertel R, Lambert SM, Müller S et al. On the timing of soft-tissue reconstruction for open fractures of the lower leg. *Arch Orthop Trauma Surg* 1999; 119: 7–12
- [26] Hong MK-H, Hong MK-Y, Taylor GI. Angiosome territories of the nerves of the upper limbs. *Plast Reconstr Surg* 2006; 118: 148–16
- [27] Horn BD, Rettig ME. Interobserver reliability in the Gustilo and Anderson classification of open fractures. *J Orthop Trauma* 1993; 7: 357–360
- [28] Janis JE, Kwon RK, Attinger CE. The new reconstructive ladder: modifications to the traditional model. *Plast Reconstr Surg* 2011; 127 (Suppl 1): 205–212
- [29] Jerome D. Advances in negative pressure wound therapy: the VAC instill. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2007; 34: 191–194
- [30] Kairinos N, Solomons M, Hudson DA. Negative-pressure wound therapy I: the paradox of negative-pressure wound therapy. *Plast Reconstr Surg* 2009; 123: 589–598, discussion 599–600
- [31] Kamat AS. Infection rates in open fractures of the tibia: is the 6-hour rule fact or fiction? *Adv Orthop* 2011; 2011: 943495
- [32] Karanas YL, Nigriny J, Chang J. The timing of microsurgical reconstruction in lower extremity trauma. *Microsurgery* 2008; 28: 632–634
- [33] Kregor PJ, Stannard J, Zlowodzki M et al. Distal femoral fracture fixation utilizing the Less Invasive Stabilization System (L.I.S.S.): the technique and early results. *Injury* 2001; 32 (Suppl 3): SC32–SC47
- [34] Kregor PJ, Stannard JA, Zlowodzki M, Cole PA. Treatment of distal femur fractures using the less invasive stabilization system: surgical experience and early clinical results in 103 fractures. *J Orthop Trauma* 2004; 18: 509–520
- [35] Krettek C, Gerich T, Miclau T. A minimally invasive medial approach for proximal tibial fractures. *Injury* 2001; 32 (Suppl 1): SA4–SA13
- [36] Labler L, Rancan M, Mica L et al. Vacuum-assisted closure therapy increases local interleukin-8 and vascular endothelial growth factor levels in traumatic wounds. *J Trauma* 2009; 66: 749–757
- [37] Lenarz CJ, Watson JT, Moed BR et al. Timing of wound closure in open fractures based on cultures obtained after debridement. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92: 1921–1926
- [38] Levin LS. New developments in flap techniques. *J Am Acad Orthop Surg* 2006; 14 (10 Spec No): 90–93
- [39] Levin LS. Early versus delayed closure of open fractures. *Injury* 2007; 38: 896–899
- [40] Liu DSH, Sofiadellis F, Ashton M et al. Early soft tissue coverage and negative pressure wound therapy optimises patient outcomes in lower limb trauma. *Injury* 2012; 43: 772–778
- [41] Mader JT, Calhoun J, Cobos J. In vitro evaluation of antibiotic diffusion from antibiotic-impregnated biodegradable beads and polymethyl-methacrylate beads. *Antimicrob Agents Chemother* 1997; 41: 415–418
- [42] McNulty AK, Schmidt M, Feeley T, Kieswetter K. Effects of negative pressure wound therapy on fibroblast viability, chemotactic signaling, and proliferation in a provisional wound (fibrin) matrix. *Wound Repair Regen* 2007; 15: 838–846
- [43] Morris SF, Taylor GI. Predicting the survival of experimental skin flaps with a knowledge of the vascular architecture. *Plast Reconstr Surg* 1993; 92: 1352–1361
- [44] Morykwas MJ, Argenta LC, Shelton-Brown EI, McGuirt W. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: animal studies and basic foundation. *Ann Plast Surg* 1997; 38: 553–562
- [45] Orthopaedic Trauma Association: Open Fracture Study Group. A new classification scheme for open fractures. *J Orthop Trauma* 2010; 24: 457–464
- [46] Patella V, Speciale D, Patella S et al. Wound necrosis after total knee arthroplasty. *Orthopedics* 2008; 31: 807
- [47] Penn-Barwell JG, Murray CK, Wenke JC. Early antibiotics and debridement independently reduce infection in an open fracture model. *J Bone Joint Surg Br* 2012; 94: 107–112
- [48] Pignatti M, Pasqualini M, Governa M et al. Propeller flaps for leg reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2008; 61: 777–783
- [49] Pollak AN, Jones AL, Castillo RC et al., LEAP Study Group. The relationship between time to surgical debridement and incidence of infection after open high-energy lower extremity trauma. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92: 7–15
- [50] Pollak AN, Powell ET, Fang R et al. Use of negative pressure wound therapy during aeromedical evacuation of patients with combat-related blast injuries. *J Surg Orthop Adv* 2010; 19: 44–48
- [51] Raad W, Lantis JC II, Tyrie L et al. Vacuum-assisted closure instill as a method of sterilizing massive venous stasis wounds prior to split thickness skin graft placement. *Int Wound J* 2010; 7: 81–85
- [52] Rodriguez ED, Bluebond-Langner R, Copeland C et al. Functional outcomes of posttraumatic lower limb salvage: a pilot study of anterolateral thigh perforator flaps versus muscle flaps. *J Trauma* 2009; 66: 1311–1314
- [53] Rozen WM, Grinsell D, Koshima I, Ashton MW. Dominance between angiosome and perforator territories: a new anatomical model for the design of perforator flaps. *J Reconstr Microsurg* 2010; 26: 539–545
- [54] Sano K, Hallock GG, Hamazaki M, Daicyo Y. The perforator-based conjoint (chimeric) medial sural (medial gastrocnemius) free flap. *Ann Plast Surg* 2004; 53: 588–592
- [55] Scherer LA, Shiver S, Chang M et al. The vacuum assisted closure device: a method of securing skin grafts and improving graft survival. *Arch Surg* 2002; 137: 930–933; discussion 933–934
- [56] Schmidt AB, Giessler GA. The muscular and the new osteomuscular composite peroneus brevis flap: experiences from 109 cases. *Plast Reconstr Surg* 2010; 126: 924–932
- [57] Skaggs DL, Friend L, Alman B et al. The effect of surgical delay on acute infection following 554 open fractures in children. *J Bone Joint Surg Am* 2005; 87: 8–12
- [58] Spencer J, Smith A, Woods D. The effect of time delay on infection in open long-bone fractures: a 5-year prospective audit from a district general hospital. *Ann R Coll Surg Engl* 2004; 86: 108–112
- [59] Stannard JP, Volgas DA, McGwin G III et al. Incisional negative pressure wound therapy after high-risk lower extremity fractures. *J Orthop Trauma* 2012; 26: 37–42
- [60] Südkamp NP. Soft tissue injuries of the tibia. In: Ruedi TP, Buckley RE, Moran CG, eds. *AO Principles of Fracture Management*. Stuttgart: Thieme; 2007
- [61] Taylor GI, Caddy CM, Watterson PA, Crock JG. The venous territories (venosomes) of the human body: experimental study and clinical implications. *Plast Reconstr Surg* 1990; 86: 185–213
- [62] Taylor GI, Corlett RJ, Dhar SC, Ashton MW. The anatomical (angiosome) and clinical territories of cutaneous perforating arteries: development of the concept and designing safe flaps. *Plast Reconstr Surg* 2011; 127: 1447–1459
- [63] Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Br J Plast Surg* 1987; 40: 113–141
- [64] Taylor GI, Pan WR. Angiosomes of the leg: anatomic study and clinical implications. *Plast Reconstr Surg* 1998; 102: 599–616, discussion 617–618

- [65] Tscherne H, Gotzen L. Pathophysiology and classification of soft tissue injuries associated with fractures. In *Fractures with Soft Tissue Injuries*. Berlin: Springer; 1984
- [66] Vergara-Amador E. Anatomical study of the ulnar dorsal artery and design of a new retrograde ulnar dorsal flap. *Plast Reconstr Surg* 2008; 121: 1716–1724
- [67] Warner M, Henderson C, Kadrmas W, Mitchell DT. Comparison of vacuum-assisted closure to the antibiotic bead pouch for the treatment of blast injury of the extremity. *Orthopedics* 2010; 33: 77–82
- [68] Webb LX. New techniques in wound management: vacuum-assisted wound closure. *J Am Acad Orthop Surg* 2002; 10: 303–311
- [69] Webb LX, Pape HC. Current thought regarding the mechanism of action of negative pressure wound therapy with reticulated open cell foam. *J Orthop Trauma* 2008; 22 (10, Suppl): 135–177
- [70] Weed T, Ratliff C, Drake DB. Quantifying bacterial bioburden during negative pressure wound therapy: does the wound VAC enhance bacterial clearance? *Ann Plast Surg* 2004; 52: 276–279, discussion 279–280
- [71] Weitz-Marshall AD, Bosse MJ. Timing of closure of open fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 2002; 10: 379–384
- [72] Wongworawat MD, Schnall SB, Holtom PD et al. Negative pressure dressings as an alternative technique for the treatment of infected wounds. *Clin Orthop Relat Res* 2003; 414: 45–48
- [73] Wood T, Sameem M, Avram R et al. A systematic review of early versus delayed wound closure in patients with open fractures requiring flap coverage. *J Trauma Acute Care Surg* 2012; 72: 1078–1085
- [74] Yao SQ, Zhang FQ, Pan JS, Zhang YZ. Modified distally based sural nerve flaps in acute traumatic forefeet reconstructions. *Ann Plast Surg* 2009; 63: 77–80

3 Muskuloskelettale Infektionen nach Trauma

J. T. Watson,
Übersetzer: C. Wagner

3.1 Einleitung

Infektionen sind eine gefürchtete Komplikation nach muskuloskelettalem Trauma. Die Inzidenz nach operativer Versorgung geschlossener Frakturen wird in der Literatur mit 0,4–7% angegeben [22], [217], bei offenen Frakturen oder höhergradigem Weichteilschaden kann sie auf ein Vielfaches ansteigen [32], [53], [206], [217], [226], [271], [272]. Die Häufigkeit variiert hier zwischen 0,1% (Typ Gustilo I) und 25–55% für offene Frakturen Typ Gustilo III. Bis zu 30% der offenen Frakturen weisen eine primäre Keimbeseidlung auf [32]. Trotz zahlreicher Maßnahmen wie Hygieneverbesserungen, modernen Operationsmethoden oder -implantaten hat sich die Infektrate in den vergangenen Jahrzehnten nicht grundlegend geändert; in der Reduktion postoperativer Infektionsraten ist ein Stillstand eingetreten [264].

Durch die Infektion ist der Behandlungsverlauf verzögert und erschwert, bei eingeschränkten Therapieoptionen ist der Behandlungserfolg gefährdet. Kommt es beispielsweise nach einer Fraktur eines langen Röhrenknochens zu einem Infektverlauf, sind die Behandlungskosten und der Krankenhausaufenthalt um durchschnittlich 20,5% bzw. 36,2% erhöht. Die sozioökonomischen Folgen und Auswirkungen muskuloskelettaler Infektionen sind enorm [203]. Trotz in den 2000er Jahren relativ stabil gebliebenen Krankenhausbuchschnittskosten pro Eingriff ergab die Analyse der US-nationalen Datenbank stationärer Patienten (Nationwide Inpatient Sample, NIS) eine durch die steigende Anzahl infektionsbedingter Revisionseingriffe zunehmende ökonomische Belastung des Gesundheitssystems. Die mit der Therapie muskuloskelettaler Infektionen verbundenen Kosten variieren sehr; sie sind jedoch höher als die der vorausgegangenen Primäreingriffe wie dem elektiven Gelenkersatz oder der Frakturversorgung [139].

Die geschätzten jährlichen Gesamtkosten für die stationäre Behandlung von Infektionen nach primärem Hüftgelenkersatz sind in den USA von 365 Millionen US-Dollar im Jahr 2001 auf 771 Millionen US-Dollar im Jahr 2011 gestiegen; Prognosen erwarten für 2015 bzw. 2020 einen weiteren Anstieg auf 1,1 Milliarden bzw. 1,63 Milliarden US-Dollar. Hinzu kommen vergleichbar hohe Kosten für die Behandlung von Infektionen nach operativer Versorgung von Frakturen. So können beispielsweise die Therapiekosten einer Fraktur-assoziierten nekrotisierenden Faszitis zwischen 20 000 und 866 000 US-Dollar betragen; die Gesamtmortalität liegt bei über 10% [99].

3.2 Präventive Maßnahmen

Angesichts der möglichen Folgen muskuloskelettaler Infektionen besitzt die Prävention höchste Priorität. Hierbei ist die multifaktorielle Pathogenese mit Einfluss verschiedener lokaler und systemischer Faktoren zu berücksichtigen [131], [217], [254], [264]. Wirtsspezifische Präventionsmaßnahmen beinhalten unter anderem die Optimierung der Leistungsfähigkeit der Wirtsabwehr, wobei die Ernährung eine große Rolle spielt. Nach Trauma und bei hospitalisierten Patienten tritt häufig eine Mangelernährung auf. Insbesondere durch den Eiweißmangel verursacht, führt diese zu einer Beeinträchtigung der humoralen als auch der zellvermittelten Abwehrmechanismen und damit zu einer Schwächung des Immunsystems [176], [200].

Hinweise aus Anamnese oder körperlicher Untersuchung können durch Laboruntersuchungen, z. B. Albumin-Serumspiegel (Normwerte Erwachsene: 3,5–5,5 g/dl) oder Gesamtlymphozytenzahl, evaluiert werden. Bei Mangelernährung sind supportive Maßnahmen zur bedarfsgerechten Nährstoffaufnahme einzuleiten. Patienten mit Risikofaktoren (u. a. Medikamenteneinnahme, Nikotinkonsum), systemischen Vor- bzw. Begleiterkrankungen (u. a. Diabetes mellitus, Bindegewebserkrankungen, periphere arterielle Verschlusskrankheit) oder Störungen des Immunsystems sind durch postoperative Wundheilungsstörungen mit nachfolgender Infektion gefährdet; diese Faktoren sind daher zu berücksichtigen bzw. begleitend zu therapieren [217].

Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe bei offenen Frakturen wurden bereits in Kap. 2 ausgeführt. Das Infektionsrisiko bei offenen Frakturen kann zumindest partiell durch den Operateur beeinflusst und reduziert werden. Die wichtigsten Präventionsmaßnahmen sind [22]

- ein ausreichendes Débridement mit Spülung und [217]
- die Applikation von Antibiotika.

3.2.1 Débridement und Spülung

Das initiale Débridement muss gründlich und sorgfältig erfolgen. Diesbezüglich wird ein systematisches Vorgehen unter ggf. erforderlicher Wunderweiterung empfohlen. Fremdkörper sind vollständig zu entfernen, ebenso erkennbar nekrotisches und devaskularisiertes Knochen- und Weichteilgewebe. Hautareale mit fraglicher Vitalität, jedoch entscheidender Lokalisation (Hände, Füße, prätibiale Region) sind, wenn möglich, zu erhalten und ggf. nach Demarkierung sekundär zu entfernen. Um eine zussätzliche Ischämie solcher Grenzgebiete zu vermeiden und die Blutung aus dem Gewebe als einen der wichtigsten Indikatoren der Vitalität nutzen zu können, sollte die

Blutsperre zurückhaltend und im Bedarfsfall nur kurzzeitig eingesetzt werden. Abhängig vom intraoperativen Befund können „Second-Look“-Operationen mit wiederholtem Débridement in 24- bis 48-Stunden-Intervallen erforderlich sein. Hierbei sind saubere und vitale Wundverhältnisse anzustreben [252].

Zusätzlich zur mechanischen Wundreinigung erfolgt eine Spülung des Wund- und Operationsgebiets mit ausreichenden Flüssigkeitsvolumina (8 - 10 Liter). Durch den Einsatz eines höheren Sprühdruks, z. B. eines pulsilen Hochdruckspülsystems (Jet-Lavage-System, Pulsed-Lavage-System), lässt sich zwar die Effektivität der Partikel- bzw. Fremdkörperentfernung erhöhen und die bakterielle Kontamination vermindern, jedoch wird in Tierversuchstudien eine verzögerte Knochenheilung berichtet. Des Weiteren kann es zu einer Keimverschleppung in tiefere Schichten kommen, die - in Verbindung mit dem Einbringen von Luft und Flüssigkeit in das Gewebe - eine Beeinträchtigung der körpereigenen Abwehr und damit eine Persistenz der Infektion verursachen kann. Systeme mit erhöhtem Wasserdruck werden demzufolge kontrovers diskutiert; Vor- und Nachteile werden in Tiermodellstudien weiter untersucht.

Der Vergleich zwischen dem Pulsed-Lavage-System und der einfachen Spülung mittels Spritze unter Einsatz verschiedener Spüllösungen in einem Biolumineszenz-Wundinfektionsmodell ergab bei Verwendung des Pulsed-Lavage-Systems mit 3, 6 bzw. 9 Litern Spüllösung eine Reduktion der bakteriellen Kontamination um 52 %, 64 % bzw. 70 %; bei der Spülung mit einer Spritze dagegen eine Reduktion um 33 %, 44 % bzw. 51 % [236]. Nach 48 Stunden zeigte sich jedoch in der Pulsed-Lavage-Gruppe ein erneuter Anstieg der Bakterienzahl auf 94 % der Ausgangswerte vor der Spülung, bei der Spülung mit einer Spritze lediglich ein Anstieg auf 48 % [186].

Entscheidend ist der Spüleffekt; ein Nutzen von Antibiotikazusätzen ist nicht nachgewiesen, und ihr Einsatz ist aufgrund der lokal eher negativen Wirkungen kritisch zu bewerten. Antiseptika, beispielsweise Betadine, Wasserstoffperoxid oder Chlorhexidin, sollten aufgrund ihres potenziell nachteiligen Effekts auf die Wirtsabwehr vermieden werden [196]. Der Zusatz von Detergenzien zeigte in Laborstudien vielversprechende Ergebnisse [5]. In am Biolumineszenz-Tierfrakturmodell durchgeführten Untersuchungen zur Wirksamkeit von Zusätzen zeigte Olivenölseife die höchste Dekontaminationsrate, gefolgt von Benzalkoniumchlorid, Bacitracin und Kochsalzlösung. Olivenölseife zeigte mit bis zu 120 % der Ausgangswerte jedoch auch die höchste Re-Kontaminationsrate, dagegen Kochsalzlösung mit 68 % die niedrigste [186]. In einer gleichartigen Studie derselben Autoren zeigte auch Trinkwasser eine wirksame Reduktion der Bakterienlast mit einem relativ niedrigen Re-Kontaminationswert von 71 % [237]. Zusammenfassend scheinen die meisten der gebräuchlichen Lösungsansätze zur bakteriellen Dekontamination, z. B. Spülsubstanzen (andere als Kochsalzlösung) oder Hochdruck-Spülsysteme, nicht zu den besten klinischen Ergebnissen zu führen.

Eine neuere Technik, das Hydrochirurgiesystem, nutzt einen Saugeffekt, um avitales Gewebe in einen Hochdruck-Flüssigkeitsjet mit Kochsalz hineinzuziehen, der es dann aus dem gesunden Umgebungsgewebe heraus-schneidet und über ein lokalisiertes Saugsystem aus der Wunde entfernt. Klinische Evaluierungsstudien zeigen eine Reduktion der für ein adäquates Débridement erforderlichen Gesamtzeit, der erforderlichen Menge an Spülsubstanzen und vor allem der bis zum definitiven Wundverschluss erforderlichen Anzahl operativer Eingriffe [231], [249]. Beim Einsatz in der Behandlung chronisch-venöser Ulcera cruris konnten Caputo und Mitarbeiter [31] eine im Vergleich zu konventionellen Débridement-Techniken um 39 % kürzere Operationszeit mit signifikanter Reduktion der erforderlichen Spülflüssigkeit ($p < 0,001$) zeigen. Die Zeit bis zum Wundverschluss betrug im Median bei Anwendung des Hochdruck-Flüssigkeitsjets 71 Tage, bei konventioneller Therapie 77 Tage ($p = 0,733$). Durch die kürzere Operationszeit und den früher möglichen Wundverschluss wird eine Kostenreduktion erreicht.



Merke

Das chirurgische Débridement ist unbestritten der entscheidendste Faktor in der Frühphase der Wundbehandlung und zur Vermeidung postoperativer Wundinfektionen.

Ist ein primärer Wundverschluss nicht möglich, sollte zwischen den einzelnen Débridement-Eingriffen ein Austrocknen der Wunde durch geeignete Verbandstechniken (z. B. Antibiotic-bead-pouch-Technik) [107] oder eine Unterdruckwundtherapie wie dem Vakuumversiegelungssystem (z. B. VAC-Instill-Verband; erhältlich durch Kinetic Concepts Inc., San Antonio, Texas) [260] verhindert werden. Die Wirksamkeit der Unterdrucktherapie als temporärer Wundverschluss bei offenen Frakturen ist belegt; in einer prospektiv-randomisierten Studie von Stannard und Mitarbeitern [234] war die Infektionsrate nach Unterdrucktherapie im Vergleich zu anderen Techniken signifikant auf ein Fünftel reduziert. Zusätzlich wird die Bildung von Granulationsgewebe induziert [26], [74]. Nach Konsolidierung der Weichteile erfolgt der direkte Wundverschluss oder die Defektdeckung entsprechend der rekonstruktiven Leiter [252].

3.2.2 Systemische Antibiotikagabe

Bei offenen Frakturen ist die systemische Antibiotikatherapie unverzichtbarer Bestandteil der Behandlung; Auswahl und Applikationsdauer der Antibiotika werden jedoch kontrovers diskutiert. Bei niedriggradig offenen Frakturen sind in der Regel Cephalosporine der ersten oder zweiten Generation für die Dauer von 2–3 Tagen

ausreichend. Bei höhergradig offenen Frakturen (z. B. Grad III) kann dagegen die Kombination mit anderen Wirkstoffgruppen (z. B. Aminoglykoside) bei verlängerter Applikationsdauer (5–10 Tage) erforderlich sein. Bei Verletzungen in spezifischem, z. B. landwirtschaftlichem oder maritimem, Umfeld ist eine zusätzliche Antibiose zu erwägen; bei stark verschmutzten Wunden muss das anaerobe Erregerspektrum berücksichtigt werden. In Abhängigkeit von Keimnachweis und Resistenzbestimmung ist die empirische Breitbandantibiose testgerecht umzustellen. Durch frühzeitige Gabe der Antibiotika kann in Studien die Infektionsrate, unabhängig vom Zeitpunkt des Débridements, signifikant reduziert werden [191].

3.2.3 Innere oder äußere Frakturstabilisierung

Eine mechanische Instabilität begünstigt das Auftreten von Infektionen [217], weshalb in der Prävention die Frakturstabilisierung mittels äußerer oder innerer Verfahren einen hohen Stellenwert besitzt. Diese erfolgt bei offenen Frakturen klassischerweise durch einen Fixateur externe [109]; bei ausreichendem Débridement der Wunde ist jedoch auch eine interne Fixierung vertretbar [218]. Von entscheidender Bedeutung ist es, eine zusätzliche Traumatisierung der Durchblutung und des Gewebes durch die Operation zu vermeiden. Durch die Entwicklung schonender, minimalinvasiver Techniken wurde die Indikation zu primär internen Verfahren in den letzten Jahren zunehmend erweitert [252].

Die Infektionsprophylaxe bei der operativen Therapie geschlossener Frakturen folgt den gleichen Richtlinien wie bei der Durchführung elektiver aseptischer orthopädischer Operationen. Die Frakturversorgung ist jedoch aufgrund der Implantate und der durch das Trauma bedingten Beeinträchtigung des Immunsystems als Hochrisikoperation zu werten. Die Infektionsraten können bekanntermaßen durch das strikte Einhalten einer „aseptischen Technik“ drastisch reduziert werden [176]. Diese beinhaltet u. a. die Begrenzung der im Operationssaal Anwesenden auf ein Mindestmaß, die erst unmittelbar vor dem operativen Eingriff stattfindende Rasur der betroffenen Region, die sorgfältige, gewebeschonende Präparation und Operationstechnik sowie das Wissen um sterile Arbeitstechniken bei allen an der Operation Beteiligten.

3.2.4 Perioperative Antibiotikaphylaxe

In einer prospektiv randomisierten, verblindeten und placebokontrollierten Studie konnten die Infektionsraten nach operativer Therapie geschlossener Frakturen durch präoperativ applizierte Antibiotika signifikant reduziert werden [25]. Die Applikation einer Antibiotikaphylaxe sollte innerhalb von zwei Stunden vor dem Hautschnitt, jedoch mindestens zehn Minuten vor dem Schließen der Blutsperre erfolgen [25], [182], [256]. Bei geschlossenen Frakturen werden parenterale Breitspektrumantibiotika

bei langer Halbwertszeit als Einzeldosis bzw. bei kürzerer Halbwertszeit über mindestens zwölf Stunden empfohlen [256]. Für eine postoperativ über 24 Stunden hinausgehende Antibiose ist dagegen kein Nutzen dokumentiert. Aufgrund der Wirksamkeit gegen die häufigsten Pathogene (grampositive Hautflora) und die üblichen gramnegativen Aerobier, der hohen Spitzenkonzentrationen, der langen Halbwertszeit und der Konzentration im Hämatom wird am häufigsten Cefazolin eingesetzt [182]. Wegen seiner erhöhten Empfindlichkeit für die Hydrolyse durch *Staphylococcus aureus*- β -Laktamase wird Cefazolin jedoch oft durch ein Cephalosporin der zweiten Generation (z. B. Cefuroxim) ersetzt [256].

3.2.5 Zeitpunkt des Wundverschlusses

Bezüglich der Frage, wie zügig eine offene Fraktur primär oder über verschiedene Techniken der Wunddeckung sekundär verschlossen werden kann, liegen nur wenige definitive Empfehlungen vor; der Zeitpunkt des Wundverschlusses erfolgt daher immer nach subjektiver Einschätzung. In einer retrospektiven Studie konnten DeLong und Mitarbeiter [55] zeigen, dass ein primärer Wundverschluss nach sorgfältigem Débridement durch einen erfahrenen Unfallchirurgen nicht zu einer signifikant höheren postoperativen Infektions- bzw. Revisionsrate führt. Im Gegensatz zu den in der Studie untersuchten, überwiegend niedriggradigen Frakturen wird der primäre Wundverschluss bei hochenergetisch bedingten Frakturen mit höherer Gewebstraumatisierung und Kontamination kritisch gesehen.

Inwieweit nach Spülung und Débridement entnommene Kulturen als Indikator für die Wundkonditionierung und als Entscheidungshilfe für die Terminierung des Wundverschlusses bei offenen Frakturen herangezogen werden können, wurde von Lenarz und Mitarbeitern [143] in einer großen retrospektiven Studie untersucht. Waren die Kulturen nach 48 Stunden negativ, konnte die Wunde im Rahmen der nächsten operativen Revision erfolgreich verschlossen werden; bei positivem Befund wurde dagegen ein erneutes operatives Débridement mit anschließend erneuter Kulturentnahme durchgeführt. Dieses Vorgehen wurde bis zum Erhalt negativer Kulturen wiederholt; danach erfolgte der primäre Wundverschluss bzw. die Weichteildeckung. Die Anwendung dieses Protokolls an mehr als 600 offenen Frakturen ergab eine Gesamt-Infektionsrate von 4,3 %; die Infektionsrate speziell der Gustillo-Typ-IIIb-Frakturen betrug lediglich 4,2 %. Diese für diese schweren offenen Frakturen sehr geringe Infektionsrate erforderte jedoch eine strikte Einhaltung des beschriebenen Protokolls. Die Autoren konnten weiterhin zeigen, dass der Wundverschluss bei hochenergetisch bedingten Frakturen, trotz durchschnittlich fünf erforderlichen Débridement-Eingriffen, nicht später erfolgte. Nach ihrer Ansicht war bei diesen schweren Verletzungen bis zur vollständigen Demarkierung des geschädigten Gewebes diese Anzahl von Revisionseingriffen zur Vermeidung einer Infektion erforderlich.

3.2.6 Wahl des geeigneten Operationszeitpunkts

Ein entscheidender Aspekt zur Infektionsprophylaxe in der Behandlung geschlossener Frakturen ist die Wahl des geeigneten Operationszeitpunkts. Geschlossene Frakturen sind häufig mit einer deutlichen Schädigung der Weichteile und damit beeinträchtigter Fähigkeit zur Wundheilung und Abwehrfunktion assoziiert. In einer solchen Situation sollte eine definitive Frakturversorgung erst nach Konsolidierung der Weichteile erfolgen. Entgegen der früheren Meinung existiert kein sicheres frühes Zeitfenster, in dem trotz geschädigter Weichteile sicher operiert werden kann.

Ein häufig benutzter Indikator zur Festlegung des Operationszeitpunkts ist der „Hautfaltentest“: Ein weiches und mobiles Gewebe, das beim behutsamen Zusammendrücken zwischen zwei Fingern reguläre Hautfalten bildet, kann eine chirurgische Inzision tolerieren (► Abb. 3.1).

3.2.7 Temporäre externe Fixation

Zum Abschwellen und zur Rückbildung von Blasen und Ekchymosen erfolgt eine temporäre externe Fixation. Diese sichert die Länge sowie das Alignment der Extremität und gewährleistet die zur Konsolidierung des Gewebes erforderliche Stabilität. Diese als „Distraktionsverfahren“ bezeichnete Technik ermöglicht die gelenküberbrückende Fixierung ohne nachteilige Auswirkungen [4] (► Abb. 3.2) und erlaubt das Hochlagern der Extremität durch Aufhängen des Befestigungsrahmens sowie die Applikation pneumatischer Hilfsmittel wie der Fußpumpe; hierdurch wird das Abschwellen der Weichteile unterstützt. Studien konnten zeigen, dass dieses abgestufte Behandlungskonzept bei komplexen Verletzungen die Infek-



Abb. 3.1 „Hautfaltentest“ bei Weichteilschwellung. Bilden sich bei schonendem Zusammendrücken des weichen und mobilen Gewebes reguläre Hautfalten, kann die operative Versorgung der Kalkaneusfraktur erfolgen.

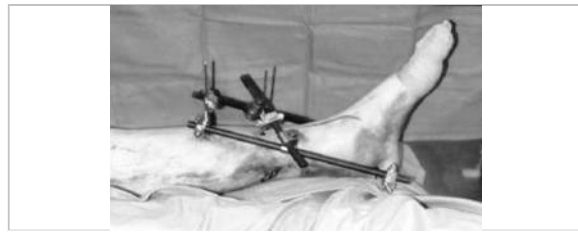


Abb. 3.2 Temporäre externe Fixation. Die Sprunggelenk-überbrückende Fixateur-externe-Montage mit querverlaufendem Steinmann-Nagel im Fersenbein und Schanz-Schrauben in der Tibia ermöglicht ein Hochlagern der Extremität und sichert den Erhalt der Länge sowie des Alignments. Die grobe Reposition der Hauptfragmente wird durch Ligamentotaxis gehalten.

tionsraten im Vergleich zur primär offenen Reposition und inneren Fixierung (ORIF) reduziert [100].

Zum Verfahrenswechsel erfolgt die Demontage des Rahmens. Lediglich der zum intraoperativen Erhalt der Stabilität erforderliche Anteil wird belassen und nach Desinfektion und sterilem Abdecken des Operationsgebiets genutzt, um die Reposition während der inneren Fixation zu sichern [258]. Nach vorausgegangener Pin-Infektion ist ein Verfahrenswechsel auf eine Marknagelung mit inakzeptabel hohen Infektionsraten assoziiert [162] und daher kontraindiziert. Bei reizlosen Pin-Eintrittsstellen und kurzer Tragezeit des Fixateurs ist die Gefahr einer Infektion deutlich geringer und eine intramedulläre Fixation durchführbar. In Abhängigkeit von der Zeitdauer der Ruhigstellung im Fixateur kann der Verfahrenswechsel ein- oder zweizeitig erfolgen. Der Wechsel zur Marknagelung innerhalb der ersten zwei Wochen ist am günstigsten.

3.3 Diagnostik

3.3.1 Klinik

Eine manifeste posttraumatische Osteitis präsentiert sich häufig mit Schmerzen, Instabilität, chronischen Hautveränderungen und einer eitrigen Fistelsekretion (► Abb. 3.3). Bei solchen klinischen Zeichen ist die Diagnosestellung unstrittig, die Therapie kann sich im Vergleich zu einer früh diagnostizierten Infektion jedoch wesentlich schwieriger gestalten.

Eine sich innerhalb von zwei Wochen nach interner Fixation am Ort der chirurgischen Intervention manifestierende lokale Infektion ist im Allgemeinen nur auf die Weichteile begrenzt [118]. Die Interpretation der Symptome kann allerdings erschwert sein, da die klassischen klinischen Zeichen wie Schmerz, Fieber, Schwellung, Spannung, Erwärmung und Hautrötung durch die Verletzung oder die operative Therapie bedingt sein können. Die Schädigung des frakturnahen Weichteilmantels wird bei der initialen Beurteilung und Therapie häufig unterschätzt [116]. Randständige Hautnekrosen oder ober-



Abb. 3.3 Posttraumatische Infektion. Dieser Patient wurde sechs Wochen nach offener Tibiafraktur mit Schmerzen, Schwellung, Rötung, Erwärmung, schmerzhafter Spannung und Hautveränderungen vorstellig. Zu beachten ist die häufig vorliegende Hautablösung im Randgebiet der Drainageaustrittsstelle.

flächliche Wundheilungsstörungen mit Hautrötung oder minimaler seröser Sekretion sind oftmals Folge des direkten Weichteiltraumas.

Nach einem Zeitraum von zwei Wochen sind die klassischen Zeichen einer postoperativen Infektion häufig ausgeprägter. Sie treten außerhalb des der Operation zuordenbaren Zeitfensters auf und zeigen im Verlauf eher eine Zunahme [51], [118], [133], [146], [276]. Hierbei sind jedoch „Low-Grade“- oder indolente Infektionen mit fehlenden oder subtilen klinischen Zeichen und Symptomen zu berücksichtigen.

Merke

Während der gesamten Frakturbehandlung muss auf eine mögliche Infektion geachtet werden, insbesondere bei Vorliegen einer verzögerten oder ausbleibenden Frakturheilung.

3.3.2 Laborparameter

Bei Verdachtsdiagnose einer frühen postoperativen Infektion werden im Allgemeinen folgende laborchemische Parameter bestimmt:

- weißes Blutbild mit Leukozytenzahl
- Blutsenkungsgeschwindigkeit (BSG; ESR = Erythrozytensedimentationsrate)
- C-reaktives Protein (CRP)

Bei akuter Infektion können eine Leukozytose und eine BSG-Erhöhung vorliegen, müssen aber nicht. Insgesamt

sind beide Parameter jedoch eher unspezifisch und nicht oder nur eingeschränkt zur Verlaufskontrolle geeignet [22], [217]. Der sensitivste Parameter ist das C-reaktive Protein [22], [217], [248], ein „Akute-Phase-Protein“, dessen Blutkonzentration als Reaktion auf eine Entzündung oder eine Gewebeschädigung ansteigt. Nach Trauma bzw. komplikationsloser Frakturversorgung lässt sich stets eine signifikante, jedoch transiente CRP-Erhöhung mit Höchstwerten nach 2–3 Tagen nachweisen. Der nachfolgende rasche Abfall des CRP-Spiegels beruht auf einer konstanten Clearance-Rate mit einer Halbwertszeit von 24–48 Stunden; die Normalisierung des CRP-Spiegels ist ein Hinweis auf die Wirksamkeit der Behandlung. Ein persistierend hoher oder erneut ansteigender CRP-Spiegel kann auf einen neuen Prozess oder die Exazerbation eines früheren Entzündungs- oder Infektionsgeschehens hinweisen [77].

Merke

Bei komplikationslosem Verlauf tritt innerhalb von drei Wochen nach dem chirurgischen Eingriff eine Normalisierung der CRP-Werte ein. Bei einem Infektverlauf kommt es dagegen zu einem raschen Anstieg der Werte, die ohne spezifische Therapie keinen Abfall zeigen.

Bei Patienten mit offenen Frakturen oder Pseudarthrosen kann daher die regelmäßige postoperative Kontrolle der CRP-Spiegel für das frühzeitige Erkennen einer postoperativen Infektion hilfreich sein. In einer Studie von Wright und Khan [267] wurden die CRP-Spiegel bei 52 Patienten mit Weichteilrekonstruktion nach offenen Frakturen und chronischer Infektion, bzw. mit Pseudarthrosen der unteren Extremitäten untersucht. Bei 41 Patienten traten die CRP-Höchstwerte innerhalb von vier Tagen nach der letzten Operation auf; danach war ein Abfall erkennbar. Nach vier Tagen auftretende Höchstwerte ($p < 0,01$) bzw. anhaltend erhöhte Werte waren dagegen mit einer Infektion assoziiert. Bei postoperativer Wundinfektion waren die CRP-Spiegel am siebten ($p = 0,05$) und achten Tag ($p < 0,001$) signifikant erhöht; bei tiefer Infektion oder Pseudarthrose waren die Werte über die gesamte Behandlungszeit anhaltend erhöht. Bei Patienten mit chronischen Wunden zeigte sich der Abfall der CRP-Werte verzögert [267].

Merke

Nach erfolgreicher Infekttherapie kommt es zu einer raschen Normalisierung des CRP-Spiegels; ein Abfall der Werte ist bereits innerhalb von acht Stunden nach Beginn einer effektiven Therapie erkennbar.

Die Bestimmung weiterer laborchemischer Marker wie Interleukin 6 (IL-6), Prokalzitonin oder Tumornekrosefaktor alpha (TNF- α), wird zurzeit in klinischen Studien untersucht. Die Bestimmung von IL-6 im Serum zeigt nach ersten Ergebnissen eine hohe Sensitivität bei niedriger Spezifität; da diese in Kombination mit CRP erhöht zu sein scheint, wird die Bestimmung beider Parameter diskutiert [24], [174].

Der Stellenwert regelmäßiger CRP- und IL-6-Kontrollen in der Diagnose postoperativer Infektionen wurde auch in der Studie von Douraiswami und Mitarbeitern [62] bestätigt; hierbei wurden die Serum-CRP- und IL-6-Spiegel präoperativ und am zweiten und vierten postoperativen Tag bestimmt. Im Vergleich zu den präoperativen Ausgangswerten waren die am zweiten postoperativen Tag gemessenen CRP-Werte bei der Mehrzahl der Patienten erhöht. Während die Werte bei komplikationslosem Verlauf am vierten postoperativen Tag einen steilen Abfall zeigten (Mittelwert: 8 μ g/ml), waren sie bei Patienten mit nachfolgender Ausbildung einer Infektion anhaltend erhöht. Bei Patienten mit Infektverlauf waren die IL-6-Spiegel am zweiten postoperativen Tag erhöht (Mittelwert: 689pg/ml) und zeigten am vierten Tag einen schrittweisen Abfall (Mittelwert: 175pg/ml). Aufgrund der bestehenden Korrelation ist die regelmäßige Bestimmung postoperativer CRP- und IL-6-Spiegel nach Ansicht der Autoren zur Frühdiagnose postoperativer, klinisch noch nicht manifester, Infektionen geeignet [62]. Der Stellenwert von Prokalzitonin bzw. TNF α wird kontrovers diskutiert [24], [28], [71], [217].

Während CRP, trotz nur geringer Sensitivität und Spezifität des einzeln erhöhten Wertes, durch eine Verlaufsbestimmung einen Hinweis auf eine akute postoperative Infektion geben und damit eine Frühdiagnose ermöglichen kann [23], [206], sind die systemischen Entzündungsparameter, einschließlich CRP, bei chronischen im-

plantatassoziierten Infektionen von nur untergeordneter Bedeutung; sie liegen dann häufig im Normbereich [199], [217].

3.3.3 Bildgebung

Röntgenuntersuchung

In der Diagnostik und Verlaufskontrolle subakuter oder chronischer Infektionen sind konventionelle Aufnahmen das bildgebende Verfahren der Wahl [242]. Als typische Befunde zeigen sich periostale Reaktionen, Kortikalisauftreibungen, sowie Osteolysezonen und perifokale Aufhellungen mit Zeichen der septischen Implantatlockerung (► Abb. 3.4) [76], [86], [217], [242]. Diese radiologischen Veränderungen setzen jedoch eine Knochendestruktion oder -reaktion voraus und treten daher erst im späteren Verlauf auf. Auch weil ihre Interpretation aufgrund post-traumatischer Veränderungen und einliegender Implantate oft erschwert ist, besitzt die konventionelle Röntgentechnik in der Diagnostik akuter Infektionen bei niedriger Sensitivität (< 20 %) keine Bedeutung.

Computertomografie

Die Computertomografie (CT) ist eine hilfreiche Methode zur Erkennung ossärer Destruktionen, Sequester, Fremdkörper oder Gasbildungen [86]. Ihre Sensitivität und Spezifität bei der Diagnosesese einer Osteitis bz. Osteomyelitis wird unterschiedlich bewertet und mit 65–75 % beschrieben [67]. Allerdings ist sie im Vergleich zu anderen Bildgebungsverfahren im Nachweis früher Knochenveränderungen weniger sensitiv. Die Computertomografie ist die Methode der Wahl zur Beurteilung der Knochenneubildung sowie der ossären Destruktion; bei intraossärer sequestrierender Osteomyelitis sind auch kleinste Befunde von 1 mm nachweisbar [243]. Durch 3-D-Rekonstruktion

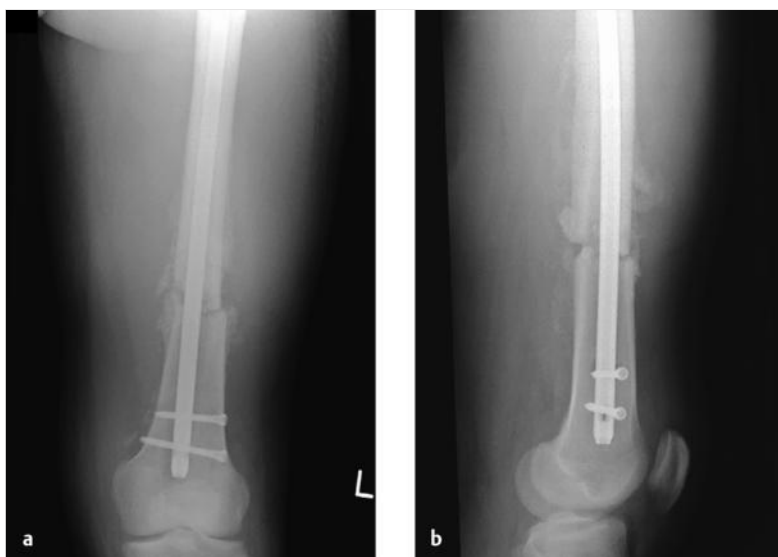


Abb. 3.4 Konventionelle Röntgenaufnahmen mit Zeichen einer Infektion. Vier Wochen nach Marknagelung bei offener Femurfraktur wurde der Patient mit Schmerzen, Schwellung des Oberschenkels, Fieber und einer Erythrozytensedimentationsrate (ESR) > 70 vorgestellt.

- a** Aufnahme im a.-p. Strahlengang.
- b** Die seitlichen Aufnahmen zeigen die typischen Veränderungen bei Infektion: Kortikalisauftreibungen, perifokale zirkumferente Aufhellungen um den Nagel und die Schrauben, periostale Erhebungen und eine reaktive Knochenneubildung.

nen liefert sie des Weiteren wertvolle Informationen über die dreidimensionale Architektur von Knochendefekten [86], [217]. Diese Informationen sind zur Planung rekonstruktiver Maßnahmen nach Eradikation der Infektion entscheidend [92], [214].

Nuklearmedizinische Verfahren

Die Knochenszintigrafie dient durch Darstellung von Perfusion und Osteozytenaktivität dem Nachweis von Arealen mit erhöhtem Knochenstoffwechsel. In der nuklearmedizinischen Diagnostik stehen verschiedene Radiopharmazeutika zur Verfügung. In der Knochenszintigrafie werden mit Technetium-99m- (^{99m}Tc -)markierte Polyphosphonate eingesetzt, die sich in Regionen mit reaktiver Knochenneubildung und erhöhter Knochendurchblutung anlagern. Trotz hoher Sensitivität besitzt die Szintigrafie eine nur unzureichende Spezifität zur Detektion einer Osteitis [214], [217]. Da auch Traumata und andere Knochenaffektionen zu einer Mehranreicherung führen können, kann die Spezifität bei posttraumatischer Infektion <20 % betragen [132]. Zur Verbesserung der diagnostischen Aussagekraft werden ^{99m}Tc -Scans oft mit anderen Techniken, wie beispielsweise der Gallium-67- (^{67}Ga -) oder der Indium-111- (^{111}In -)Leukozytenszintigrafie kombiniert.

Die Verwendung ^{111}In -markierter Leukozyten erhöht die Spezifität für Infektionen. Nach venöser Blutentnahme und In-vitro-Radiomarkierung der Leukozyten erfolgen die Reinjektion und die zeitversetzte (16–24 Stunden) Szintigrafie. Zur Diagnostik chronischer Infektionen ist die Indiumszintigrafie aufgrund der weitaus geringeren Sensitivität dagegen nicht indiziert. Die Immunszintigrafie verwendet radiomarkierte monoklonale Antikörper, die in vivo an Leukozyten binden. Bei schnellerer Durchführung, besserer bildlicher Darstellung sowie höherer Präzision und Spezifität ist hier ein Arbeiten mit Patientenblut nicht erforderlich [101].

Durch Kombination von ^{99m}Tc - und ^{111}In -markierten Leukozyten kann die Sensitivität und Spezifität für die Diagnose einer Infektion bei verheilter Fraktur auf über 80 % gesteigert werden. Durch eine raschere Normalisierung des Verteilungsmusters markierter Leukozyten ist die Inzidenz falsch positiver Untersuchungsergebnisse im Vergleich zur MRT signifikant geringer [227].

Merke

Die Szintigrafie besitzt in der Routinediagnostik postoperativer Infektionen im deutschsprachigen Raum nur eine untergeordnete Bedeutung [22], [217], [242].

Magnetresonanztomografie

Bei Vorliegen einer muskuloskelettalen Infektion liefert die Magnetresonanztomografie (MRT) präzisere Informationen über das lokale Ausmaß der Weichteilbeteiligung, da die im Vergleich zur Szintigrafie höhere anatomische Auflösung zwischen Knochen- und Weichteilinfektion differenzieren kann. Die MRT ermöglicht damit die Abgrenzung zwischen verschiedenen Formen der muskuloskelettalen Infektion, beispielsweise der septischen Arthritis und von Weichteilinfektionen, z. B. Zellulitis, Myositis, Fasziitis und Abszessen.

In mehreren Vergleichsstudien konnte nachgewiesen werden, dass die MRT in der Diagnostik und Bestimmung des Ausmaßes einer Osteitis der Szintigrafie, der Computertomografie und der konventionellen Röntgenbildgebung überlegen ist. Durch Visualisierung des Knochenmarks besitzt die MRT eine hohe Sensitivität für die Früherkennung einer Osteomyelitis. Die Spezifität der Diagnose wird jedoch durch weitere Befunde, z. B. eine im CT nachweisbare Destruktion der Kortikalis, gestützt. Bei Knocheninfektionen erreicht die MRT eine Gesamtsensitivität von 100 %, die Spezifität beträgt dagegen 60–75 % [68], [132].

Nach intravenöser Kontrastmittelgabe (Gadolinium) lassen sich umschriebene Abszesse darstellen und von entzündlichen Veränderungen der Weichteile unterscheiden. Die MRT erleichtert die Differenzierung zwischen akuter und chronischer Osteitis. Bei chronischer Entzündung oder Vorliegen posttraumatischer Veränderungen kann eine Reaktivierung oder ein Infektrezidiv detektiert werden [247].

Durch retrospektive Auswertung von MRT-Studien konnte gezeigt werden, dass die Gesamtspezifität für den Nachweis einer Knochenbeteiligung ohne signifikanten Sensitivitätsverlust auf über 80 % gesteigert werden kann, wenn eine erhöhte Knochenmarksignalintensität in den T2-gewichteten Bildern als zusätzliches Kriterium für die Diagnose einer Knocheninfektion berücksichtigt wird. In der Praxis beruht der Nachweis einer Osteomyelitis in der MRT auf Unregelmäßigkeiten des Knochenmarks mit verminderter Signalintensität in den T1-gewichteten Bildern und erhöhter Bildempfindlichkeit und -kontrastverstärkung in den T2-gewichteten Bildern oder den STIR (Short-T1-Inversion-Recovery)-Sequenzen (► Abb. 3.5) [214]. Bei negativem MRT-Befund kann eine akute Aktivität bei chronischer Osteomyelitis mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden [121].

In zahlreichen prospektiven Studien wurden MRT, 3-Phasen-Knochenszintigrafie und Indiumszintigrafie (^{111}In -Leukozyten-Scan) hinsichtlich ihrer Sensitivität bei akuten Infektionen verglichen; als Goldstandard wurde eine Biopsie entnommen. Die MRT erreichte mit ≥ 90 % die höchste Sensitivität, die Knochen- und die Indiumszintigrafie dagegen lediglich 70 % bzw. 45 %.

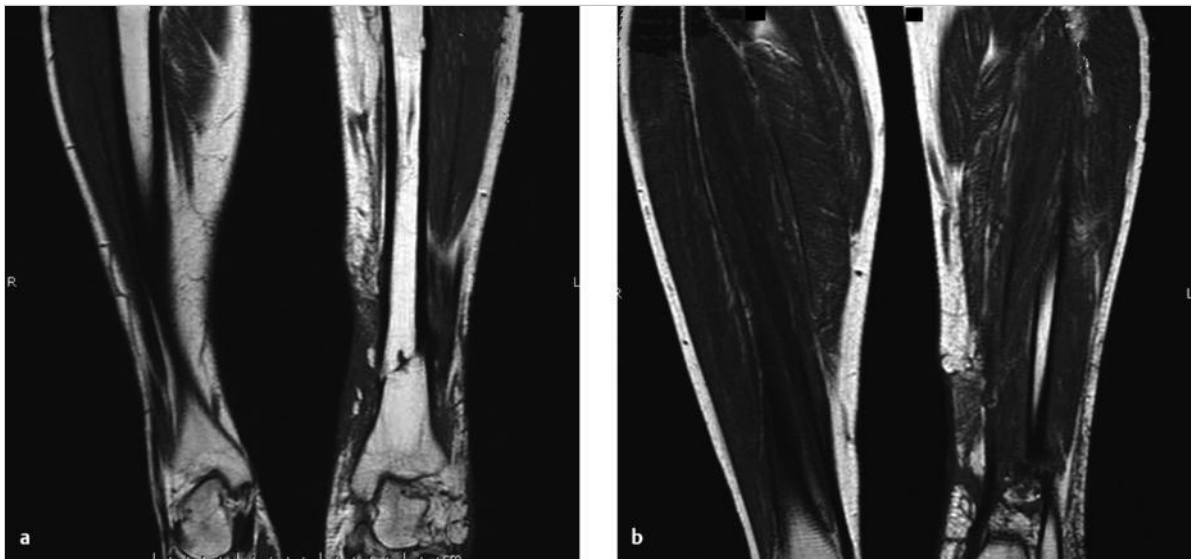


Abb. 3.5 MRT-Befund bei Knocheninfektion. Nach Spülung, Débridement, verzögertem Primärverschluss und Gipsbehandlung bei offener Tibiafraktur zeigt sich die Extremität nach Abnahme des Gipsverbands geschwollen und berührungsempfindlich.

a In den T1-gewichteten Aufnahmen ist eine verminderte Signalintensität im mittleren Frakturbereich nachweisbar.

b Die T2-Bilder zeigen eine erhöhte Signalintensität und Knochenmarkanreicherung unmittelbar kaudal der Fraktur sowie ein Ödem der Weichteile.

Praxis

Tipps und Tricks

Zur Verbesserung der Spezifität und der Treffsicherheit in der Diagnosestellung einer Osteitis sollte bei positiver Knochenszintigrafie eine MRT durchgeführt werden [263]. Bei chronischer Osteomyelitis werden dagegen nur bedingt zufriedenstellende Sensitivitäts- und Spezifitätsraten in der Verlaufskontrolle erreicht [242].

Positronenemissionstomografie

Die Positronenemissionstomografie (PET) mit Fluor-18-Fluordesoxyglukose (FDG) [137], die sich unspezifisch an Infektions- und Entzündungsherden anreichert, ist ein vielversprechendes, jedoch noch wenig verfügbares Verfahren mit hoher Sensitivität und Spezifität, das zunehmend in der Diagnostik der chronischen Osteitis und bei periimplantären Infektionen eingesetzt wird [88], [217], [242]. Sie besitzt die höchste Sensitivität, auch für „Low-Grade-Infekte“ [217]; bei negativem Ergebnis kann eine chronische Osteitis nahezu ausgeschlossen werden [88]. Der Stellenwert in der Diagnostik akuter Infektionen ist noch nicht abschließend geklärt [67].

3.3.4 Kulturen

Der kulturelle Keimnachweis in intraoperativ entnommenem Gewebe- und Knochenmaterial ist der sicherste Beweis für das Vorliegen einer Infektion. Hierzu sollten mehrere Proben aus unterschiedlichen Entnahmestellen und aus verschiedenen Geweben entnommen werden; das ideale Probenvolumen wird mit 1 cm³ angegeben [79]. Auf eine regelrechte Gewinnung sowie eine rasche Verarbeitung der Proben ist zu achten; hierdurch wird eine deutlich höhere Nachweisrate gewährleistet [274]. Am häufigsten lassen sich Staphylokokken isolieren. Die Plausibilität der Ergebnisse ist, speziell bei Verdacht auf eine Kontamination, immer kritisch zu analysieren [79]. Bei entsprechender Indikation, z. B. bestehender Immunsuppression, sind zusätzlich zu den aeroben/anaeroben Kulturen auch Kulturen für Pilze und Mykobakterien zu veranlassen.

Zur Probengewinnung sind Abstrichuntersuchungen aus Hautfisteln oder offenen Wunden bzw. Proben aus einer Nadelbiopsie nicht geeignet [153], [197]. Die intraoperativ üblichen Abstrichentnahmen und Bebrütungsverfahren zeigen eine nur niedrige Nachweisrate [177]. Dies ist u. a. durch die Bildung bakterieller Biofilme [47], [91], bzw. einen niedrigen Metabolismus mancher Erreger (z. B. Small Colony Variants, SCV) [178] bedingt. Durch eine intensivierte Keimsuche mit intraoperativer Entnahme mehrerer Gewebeproben und längerfristiger Bebrütung lässt sich die Nachweisrate deutlich steigern [177], ebenso durch verbesserte Methoden zur Detektion bio-

filmassoziierter Infektionen [50]. Im Vergleich zur mikrobiologischen Analyse zeigt die PCR-basierte molekulare Erreger- und Infektionsdiagnostik eine geringere Sensitivität und Spezifität; weiterhin ist eine sichere Vitalitäts- sowie Resistenzbestimmung nicht möglich [242].

Da die auf dem Implantat in Form eines Biofilms adhären Bakterien durch die Gewebeproben nicht erfasst werden, sollte in der Diagnostik implantatassoziierte Infektionen zusätzlich eine Sonikation erfolgen. Mit diesem Verfahren werden die Bakterien durch Ultraschallbehandlung von der Implantatoberfläche abgelöst und das Sonikat auf Agarplatten und Blutkulturflaschen mikrobiologisch untersucht; ein Erregernachweis gelingt in bis zu 90 % [69], [245], [268].

3.4 Stadieneinteilung und Klassifikation

Eine einheitliche Klassifikation der Knocheninfektionen existiert nicht. Die in der Literatur diskutierten Einteilungen sind sehr heterogen und beruhen auf verschiedenen Differenzierungsmerkmalen wie Art, Eintrittspforte, Lokalisation, Ausbreitungsrichtung, Aktivität und zeitlichem Verlauf der Infektion [242], [244].

Generell ist der Begriff „Osteitis“ dem der „Osteomyelitis“ vorzuziehen, da in der Regel sowohl das Knochenmark als auch der kortikale Knochen betroffen sind [22], [224]. Eine praktikable Einteilung und Klassifikation der chronischen Osteitis wurde von Cierny et al. etabliert. Sie basiert auf dem anatomischen Befund des Knochenbefalls und dem Gesundheitszustand des Wirtes [40].

Bezüglich der anatomischen Zuordnung werden vier Typen unterschieden:

- Typ 1: auf das Knochenmark und die intramedulläre Oberfläche des Knochens begrenzte Infektion
- Typ 2: oberflächliche, ausschließlich die äußere Kortikalis betreffende, von den angrenzenden Weichteilen ausgehende Infektion
- Typ 3: lokale Osteitis mit kortikaler Sequestrierung und in die Markhöhle reichender Kavitation; kombiniert die Befunde der Typen 1 und 2
- Typ 4: diffuse Osteitis mit penetrierender, die gesamte Zirkumferenz betreffender, durchgehender Läsion und ausgedehntem Befall der Markhöhle; häufig ein gesamtes Knochensegment betreffend. Infizierte Frakturen und Pseudarthrosen werden der Typ-4-Gruppe zugeordnet.

Bezüglich des Gesundheitszustands der Patienten erfolgt eine Einteilung in:

- Wirt A: unbeeinträchtigtes Immunsystem, regelrechte Physiologie/Metabolismus, gute Gefäßversorgung des betroffenen Bereichs
- Wirt B: lokale und/oder systemische Beeinträchtigung (z. B. Patienten mit Kortikosteroid-Medikation oder peripherer arterieller Verschlusskrankheit)

- Wirt C: kein Benefit durch Behandlung, da deren Morbidität schwerwiegender als die der Osteitis

Das klinische Stadium der Infektion wird durch die anatomische Zuordnung und den Gesundheitszustand des Wirtes bestimmt. Bei Patienten mit posttraumatischer Osteitis liegt in der Mehrzahl der Fälle ein Cierny-Stadium 3 oder 4 vor. Eine chronische Wundinfektion kann in ein Osteomyelitis-Stadium 2 übergehen; bei infiziertem intramedullärem Implantat mit knöchern stabil verheilten Tibia liegt ein Stadium 1 vor.

Eine Vielzahl weiterer Charakteristika kann zur Klassifizierung posttraumatischer muskuloskelettaler Infektionen herangezogen werden. Sie dienen der Entscheidungsfindung oder der prognostischen Einschätzung. Auch die Unterscheidung zwischen regelrechter und ausbleibender Frakturheilung bzw. zwischen stabilem und instabil einliegendem Implantat kann bezüglich der Therapieoptionen von großer Bedeutung sein. Die zeitliche Beziehung zwischen chirurgischer Intervention und dem Auftreten von Krankheitssymptomen ist hilfreich für die Bestimmung der Ätiologie und der Schwere der Infektion.

Als Verlaufsformen werden akute, subakute oder chronische Formen unterschieden [224]. Die zeitliche Abgrenzung zwischen akuter und chronischer Osteitis ist willkürlich festgesetzt. Nach kontroverser Diskussion [162], [217] wird der Zeitraum für erstere im deutschsprachigen Raum heute in der Regel auf vier Wochen begrenzt [110], [224], [242]. Ein unmittelbar oder innerhalb von vier Wochen nach einem Trauma oder einer Operation auftretende Erkrankung wird als Frühinfekt bezeichnet; ein Spät ereignis tritt dagegen nach dieser willkürlichen Zeitgrenze auf [242]. Innerhalb von zwei Wochen nach interner Stabilisierung auftretende lokale Wundinfektionen sind in der Regel auf die Weichteile begrenzt [116], [146].

3.5 Therapie

3.5.1 Grundlagen der Antibiotikatherapie bei muskuloskelettalen Infektionen

Muskuloskelettale Infektionen erfordern eine Kombination aus chirurgischer Intervention und antimikrobieller Therapie [275]; die Antibiose ist grundsätzlich nur als Adjuvans zu sehen, sie ersetzt nicht das radikale Débridement [110]. Hierbei muss beachtet werden, dass die Erreger bei implantatassoziierten Infektionen das Implantat perioperativ exogen oder hämatogen endogen kolonisieren und als sogenannter Biofilm auf der Oberfläche adhären [1], [82].

Die Biofilmbildung ist eine effiziente Anpassungs- und Überlebensstrategie der Bakterien, die als organisierte multizelluläre Einheit in einer schützenden Biofilm-Exopolysaccharid-Matrix eine relative Resistenz gegenüber körpereigenen Abwehrmechanismen, aber auch gegen-

über den meisten Antibiotika zeigen [20], [47], [60], [75], [119], [254]. Die gegen die meisten antibakteriellen Substanzen bestehende Toleranz der Biofilmbakterien ist multifaktoriell bedingt; die Resistenzmechanismen umfassen beispielsweise die Matrix als Diffusionsbarriere, die reduzierte metabolische Aktivität oder den Gentransfer von Antibiotikaresistenzfaktoren [181], [216]. Die Wirksamkeit von Antibiotika ist abhängig vom Alter des Biofilms [275]; die Empfindlichkeit nimmt innerhalb weniger Tage drastisch ab [18].

Nach Probenentnahme zum Erregernachweis wird mit einer empirischen Antibiotikatherapie begonnen. Hierbei werden Breitbandantibiotika wie Cephalosporine (z.B. Cefazolin, Cefuroxim) eingesetzt; nach Keimbefund erfolgt der Wechsel auf eine resistenz- und testgerechte erregerspezifische Therapie. Die systemische Therapie wird aus mehreren Gründen initial parenteral durchgeführt [83], [275]; hierbei ist auf eine gute Bioverfügbarkeit im Knochen zu achten [80].

Als häufigster Erreger lässt sich *Staphylococcus aureus* isolieren [147], zunehmend häufig werden jedoch auch *Staphylococcus epidermidis* und gramnegative Keime nachgewiesen. Oft liegt eine Resistenz gegen Penicillin vor, aber auch die Resistenzen gegen penicillinasefeste Penicilline (Methicillin, Oxacillin) nehmen zu [274]. Bei methicillinresistenten Staphylokokken stellt Vancomycin die Therapie der ersten Wahl dar [80], da Vancomycinresistenzen für Staphylokokken zwar berichtet wurden, zurzeit jedoch noch selten sind. Um die Wirksamkeit zu erhalten, sollte Vancomycin nur als Reserveantibiotikum bei nachgewiesener Methicillinresistenz eingesetzt werden. Zur Steigerung der Wirksamkeit sind Kombinations-therapien in Betracht zu ziehen. Rifampicin ist ein häufig eingesetztes, biofilmaktives Antibiotikum, das oral gegeben werden kann und sich in der Behandlung von implantatassoziierten Staphylokokkenbiofilminfektionen bewährt hat [128], [273], [274], [275]; der Einsatz als Monotherapie kann jedoch rasch zur Resistenzentwicklung führen [147], [179].

Biofilme von gram-negativen Stäbchen (z.B. gram-negative Enterobakterien) lassen sich durch die zunehmend eingesetzten Chinolone erfolgreich eliminieren [275]; diese versagen jedoch häufig bei *Pseudomonas aeruginosa* oder *Staphylococcus aureus* [147], [275]. Aufgrund der Resistenzentwicklung sollten Chinolone bei *Staphylococcus aureus*-assoziierten Implantatinfektionen nicht als Monosubstanz eingesetzt werden [274], die Kombination mit oralem Rifampicin ist dagegen erfolgversprechend [63]. So konnte in einer Studie an 47 Patienten mit implantatassoziierte Infektion (Gelenkersatz/Osteosynthese) die orale Antibiotikatherapie mit Rifampicin und Ofloxacin eine Erfolgsrate von 74% zeigen [63]. Zu beachten ist jedoch, dass Fluorchinolone, speziell Ciprofloxacin, die Knochenheilung in einem experimentellen Rattenmodell hemmen [122]. Bei Nachweis seltener, multipler oder resistenter Keime empfiehlt sich die Rücksprache mit einem Infektiologen oder Mikrobiologen.

Die Dauer der systemischen Antibiotikatherapie ist abhängig vom Lokalfund und von der klinischen Situation [274]. Bei Fehlen kontrollierter vergleichender Studien liegt kein abschließender Standard vor [257], [275]. Während in der Regel ein Zeitraum von 4–6 Wochen empfohlen wird [80], sollte dieser bei Erhaltungsversuch mit einliegendem Implantat, bei einzeitigem Wechsel oder zweizeitigem Wechsel mit kurzem Intervall auf drei Monate [274], [275] bzw. bei periprotetischen Knieinfektionen auf sechs Monate [184] verlängert werden.

Parenteral intravenös applizierte Antibiotika können auch ambulant oder im häuslichen Umfeld über einen peripher eingebrachten zentralvenösen Katheter verabreicht werden. Nach bisherigen Erfahrungen ist dies kostengünstiger, jedoch nicht immer unproblematisch [274]. Eine längerdauernde oder ausschließliche parenterale Applikation ist nicht erforderlich; eine verkürzte (< 2 Wochen) intravenöse Applikationsdauer mit nachfolgender 4- bis 6-wöchiger oraler Antibiose ist als gleichermaßen wirksames Konzept anzusehen [238]. So konnte in einer Studie mit 20 Patienten bei Erhaltungsversuch eines stabilen Implantats durch eine intravenöse Teicoplanin-Applikation (mit bzw. ohne zusätzliche orale Gabe von Ciprofloxacin oder Rifampicin) und nachfolgende orale Antibiose für einen Zeitraum von durchschnittlich 28 (12–64) Wochen eine Erfolgsrate von 100% gezeigt werden [193].

Praxis

Tipps und Tricks

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Selektion und Verbreitung multiresistenter Erreger ist auf einen verantwortungsvollen Einsatz der vorhandenen Antibiotika zu achten. Das Antibiotic-Stewardship-(ABS-) Konzept als programmatischer Ansatz zum optimierten Antibiotikamanagement dient diesbezüglich der kontinuierlichen Verbesserung der Auswahl, Dosierung, Applikation und Anwendungsdauer der Substanzen [57], [175].

3.5.2 Subakute und akute Infektionen

Pin- oder Kirschner-Draht-Infektion

Die Pin-Infektion ist die häufigste Komplikation externer Fixationsverfahren. Die Ätiologie ist multifaktoriell; mögliche Ursachen sind u.a. Weichteilimpingement, mangelhafte Insertionstechnik, unzureichende Pin-Pflege sowie die Lockerung der Pins. Der Zusammenhang zwischen Pin-Lockerung und Pin-Infekt ist durch mehrere Studien belegt. Die Stabilisierung der Pin-Knochen-Grenzfläche kann die Prävalenz pinassoziierte Komplikationen reduzieren. Während Pins im spongiosen Knochen im Verlauf

häufig auslockern, können sie in kortikalem Knochen über lange Zeit fest und infektfrei verankert bleiben. Um eine Instabilität des Fixateurs zu vermeiden, ist daher jeder einzelne Pin regelmäßig auf diese mögliche Komplikation zu überprüfen [173], [202].

Pin-Lockerungen sind im Röntgenbild an einer Verdünnung und Aufhellung im Kortikalisbereich erkennbar. Diese treten typischerweise initial in direkter Nachbarschaft des Pins auf (► Abb. 3.6). Die Inzidenz lässt sich durch Hydroxylapatit-Beschichtung oder Verwendung von Titan-Pins mit einer im Vergleich zu rostfreien Stahl-Pins deutlich verbesserten Haltekraft reduzieren [202]. Histologische Untersuchungen von aus dem Pin-Track entnommenen Proben zeigen bei festsitzenden Pins ein Fehlen des Knochenremodellings, bei gelockerten Pins dagegen eine ausgeprägte Knochenresorption sowie entzündliche Infiltrate. Pin-Infektionen können jedoch auch ohne eine mechanische Lockerung auftreten.

Die Technik der Pin-Einbringung ist entscheidend, um den initialen Drehmomentwiderstand des Pins zu verbessern und das Risiko einer Lockerung zu minimieren. Die korrekte Technik beginnt mit einer ausreichend großen Hautinzision direkt im Eintrittsbereich. Anschließend erfolgt die schonende stumpfe Präparation auf das Periost, das ebenfalls inzidiert und mit einem Elevatorium vom Knochen abgelöst wird. Dieses Vorgehen vermeidet eine zusätzliche Traumatisierung der Weichteile mit Interposition und Nekrosenbildung. Nach Vorbringen eines Trokars bzw. einer Bohrbuchse bis auf den Knochen wird der Pin nach Vorbohren eines Führungslochs per Hand bis zur korrekten Tiefe eingebracht. Weichteileinziehungen werden mit einem Stichskalpell gelöst.

Selbstbohrende und -gewindeschneidende Pins zeigen im Vergleich zur vorgebohrten Technik eine geringere Haltekraft im Knochen. Um einen vergleichbaren Pin-Halt zu erreichen, wird bei ihnen eine größere Einbringtiefe angestrebt, was jedoch zu einer stärkeren Invagination

der Weichteile in den Pin-Kanal führen kann [173]. Die exzessive Hitzeentwicklung beim Einbringen der Pins kann Knochennekrosen („Ringsequester“) und Frühlockerungen verursachen. Selbstschneidende Pins zeigen eine erhöhte Rate an Mikrofrakturen beider Kortikales mit verstärkter Knochenresorption sowie verminderter Ausreißfestigkeit [102], [229].

Lokale Pin-Komplikationen werden nach Dahl et al. klassifiziert [52]. Unauffällige Weichteilverhältnisse entsprechen Grad 0; sie bedürfen lediglich einer wöchentlichen Pin-Kontrolle. Grad-1-Infektionen zeigen geringe Entzündungszeichen, jedoch ohne erkennbare Sekretion; sie erfordern eine engmaschigere Pin-Pflege sowie die tägliche Reinigung mit milder Seife oder verdünnter Peroxid- und Kochsalzlösung (► Abb. 3.7). Bei entzündeter Pin-Eintrittsstelle mit seröser Sekretion liegt eine Grad-2-Infektion vor, bei entzündeter Pin-Eintrittsstelle mit eitriger Sekretion eine Grad-3-Infektion. Neben der täglichen Pin-Pflege erfordern beide eine orale Antibiose. Grad-4-Infektionen zeigen eine seröse oder serös-eitrig Sekretion, ein entzündliches Erythem sowie röntgenologisch erkennbare Osteolysen beider Kortikales. Sind letztere nachweisbar, muss der betreffende Pin unverzüglich entfernt werden. Ist er für die Rahmenstabilität erforderlich, wird ein neuer Pin in anderer Lokalisation eingebracht. Der Pin-Kanal wird lokal débridiert und mit Peroxid oder einer vergleichbaren astringenten Lösung gespült. Sind radiologisch im Bereich der Osteolysen keine Knochenverdichtungen erkennbar, sind weitere chirurgische Maßnahmen nicht erforderlich. Grad-5-Infektionen zeigen eine Entzündungsreaktion, eine eitrig Sekretion, Osteolysen, sowie einen Sequester oder Brodie-Abszess in der Markhöhle. Hier liegt eine tiefe Infektion vor, die eine chirurgische Intervention mit Entfernung und ggf. Wechsel des Pins, Débridement und Spülung, sowie eine keim-spezifische Antibiose erfordert (► Abb. 3.6) [90], [228].

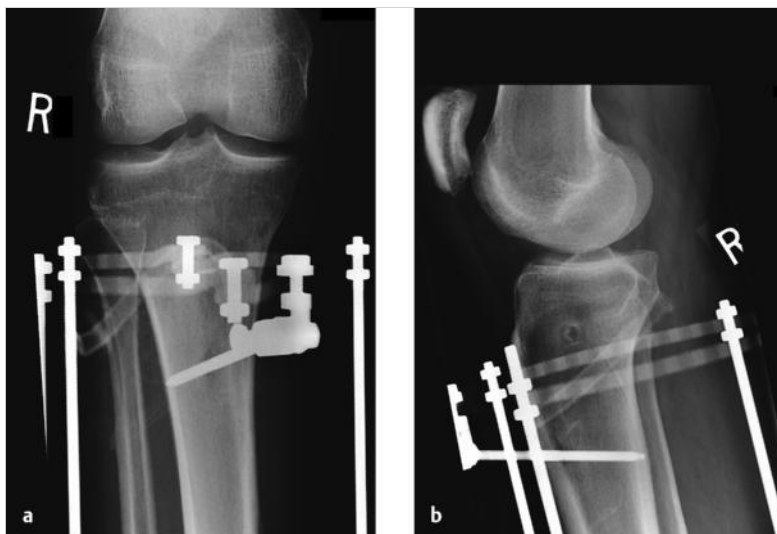


Abb. 3.6 Radiologische Zeichen einer Pin-Infektion.

- a** Schanz-Schrauben-Kanal mit Aufhellungszone der eintrittsnahen Kortikalis als Hinweis auf eine mögliche Pin-Lockerung; die entfernte Kortikalis ist intakt. Dieser Pin ist daher engmaschig auf Anzeichen einer Infektion zu kontrollieren.
- b** Laterale Ansicht derselben Schanz-Schraube. Proximal ist der verbliebene Kanal eines im Vorfeld entfernten Pins mit einem in der Tiefe erkennbaren chronischen Sequester (Verdichtung innerhalb der Aufhellung!) erkennbar. Zur Entfernung des Sequesters sollte bei Entfernung der Schanz-Schrauben auch der proximale Pin-Kanal ausgiebig kurettiert werden.



Abb. 3.7 Pin-Infektion Grad 1 und 2. Multiple Pin-Eintrittsstellen mit minimaler Rötung und geringer Sekretion. Bei fehlender Entzündung oder eitriger Sekretion wird lediglich eine kontinuierliche Reinigung und Pflege der Pins empfohlen. Antibiotika sind nicht erforderlich.

Bezüglich der zur Pflege der Pin-Eintrittsstellen und Infektionsprävention erforderlichen Maßnahmen besteht in der Literatur kein Konsens. In einer randomisierten prospektiven kontrollierten Studie von Camathias und Mitarbeitern [30] wurde der Nutzen einer täglichen Pin-Pflege untersucht; hierbei wurden die beiden Studiengruppen (tägliche versus ausbleibende Pin-Pflege) hinsichtlich Weichteilintegrität, Pin-Stabilität, Torsionsstabilität, lokaler pinassoziierter Osteolysen und Schmerzen verglichen. Die Analyse konnte hinsichtlich des lokalen Granulationsgewebes und der Sekretion (36 % vs. 35 %), der Pin-Stabilität (20 vs. 25 Pin-Lockerungen), der Osteolysen (7 vs. 6 Pins) oder der Torsionskräfte (Mittelwert 0,75 nm und Maximalwert 3,05 nm vs. Mittelwert 0,60 nm und Maximalwert 3,55 nm) keine statistisch signifikanten Unterschiede zeigen. Obwohl die Studienergebnisse damit nahelegen, dass eine tägliche Pin-Pflege nicht erforderlich ist, sofern die Alltagshygiene eingehalten wird [30], kann im Gesamtkontext das Unterlassen der Pin-Pflege nicht empfohlen werden, insbesondere nicht bei fehlender Compliance.

Ein einheitlicher Standard für die Pflege der Pin-Eintrittsstellen existiert bisher nicht. Diesbezügliche Empfehlungen basieren meist auf klinischer Präferenz bzw.

individueller Erfahrung und weniger auf fundierten wissenschaftlichen Befunden. Idealerweise sollte sich ein Protokoll zur Pin-Pflege an den pathophysiologischen Entstehungsmechanismen einer Pin-Infektion orientieren [73]. Hierbei ist zu beachten, dass durch eine korrekte Insertionstechnik die Mehrzahl der eine Pin-Infektion mit konsekutiver Pin-Lockerung verursachenden Faktoren vermieden werden kann [7], [73], [89], [141].

Bei korrekter Insertionstechnik heilen die Pin-Eintrittsstellen in der Regel vollständig ab, ähnlich den Stanzlöchern für das Einbringen von Ohrringen. Mit Ausnahme der gelegentlichen Entfernung von Krusten mit verdünnter Wasserstoffperoxid- und Kochsalzlösung, die üblicherweise als Reinigungsmittel empfohlen werden, ist danach lediglich ein Abduschen ohne weitere Reinigungsmaßnahmen erforderlich [14], [27], [66], [73], [89], [93], [209].

Zur Feststellung des zur Pin-Pflege am besten geeigneten Protokolls wurden alle in der Cochrane Datenbank enthaltenen, verschiedene Reinigungs- und Verbandstechniken hinsichtlich Infektion oder anderer Komplikationen vergleichenden, kontrolliert-randomisierten Studien (RCT) ausgewertet. Hierbei verglichen drei Studien ein Reinigungsprotokoll ohne Reinigungsmittel, zwei Studien unterschiedliche Reinigungslösungen, eine Studie die tägliche mit einer wöchentlichen Pin-Pflege und vier Studien Verbandsmaterialien bzw. -techniken. Eine dieser Studien konnte aufzeigen, dass die Infektionsrate durch Reinigung der Pins mit einer 1:1 verdünnten Wasserstoffperoxid-Lösung und anschließende Anlage eines Xeroform-Verbands im Vergleich zu anderen Protokollen um 9 % reduziert werden konnte [145], [189]. Ergänzende Studien empfehlen den Einsatz von Polyhexanid, Silbersulfadiazin oder 10 % Povidon-Iod-impregnierten Mullkompressen, um die Infektionsrate, im Vergleich zu kochsalzgetränkten Mullkompressen, zu verringern [35], [141], [270]. Trotz der vorliegenden Studien liegt bezüglich einer Minimierung der Infektionsrate für keine der einzelnen Pin-Pflege-Strategien eine ausreichende Evidenz vor [35], [61], [65], [125], [145], [270].

Wundsalben neigen zur Inhibition bzw. Modifizierung der normalen Hautflora mit Gefahr einer konsekutiven Superinfektion oder Kolonisation der Pin-Eintrittsstellen; sie sollten daher nicht angewendet werden. Krustenformationen sind zu entfernen, da sie die Pin-Haut-Grenzfläche verfestigen und die wirkenden Scherkräfte erhöhen. Unmittelbar postoperativ sollten Kompressionsverbände im Bereich der Pins angelegt werden, um die Pin-Haut-Grenzfläche zu stabilisieren und die Pin-Haut-Bewegung zu minimieren, da diese eine zusätzliche Weichteilschädigung mit Nekrosenbildung verursachen kann. Durch die Maßnahmen können die umgebende Haut und die Weichteile ungestört abheilen [89], [93], [125]. Bei Abheilung der Pin-Eintrittsstellen können die Kompressionsverbände nach 10–14 Tagen entfernt werden. Bei Sekretion sollte die Pin-Pflege dreimal täglich

durchgeführt werden. Diese kann auch erneute (Kompressions-)verbände zur Minimierung der Pin-Haut-Bewegung beinhalten [89], [125].

Praxis

Tipps und Tricks

- Bei Anlage externer Fixationsverfahren ist die korrekte Insertionstechnik von entscheidender Bedeutung zur Vermeidung von Pin-Infektionen. Diese umfasst das Vorbohren, das Einbringen der Pins per Hand, das Lösen von Weichteileinziehungen und die Kompression der den Pin umgebenden Haut.
- Nach Platzieren der Pins sollte die umgebende Haut zunächst mit einer Bandage komprimiert werden. Zur Pflege ist ein einfaches Abduschen am besten geeignet; exzessive Reinigungsmaßnahmen oder Wundsalben sind zu vermeiden. Bei Sekretion sich bildende Krusten sollten vorsichtig entfernt werden.

Infektionen bei stabilem Implantat

Akute bzw. subakute Infektionen erfordern eine frühzeitige Revisionsoperation mit radikalem Débridement, die Entnahme von Gewebeproben zur bakteriologischen Untersuchung, sowie eine additive Antibiotikaapplikation. Bei einliegendem Implantat ist das weitere Vorgehen, insbesondere die Frage nach einer Implantatentfernung, wesentlich abhängig von der Stabilität der Osteosynthese.

Obwohl die Anwesenheit von Fremdmaterialoberflächen bekanntermaßen das Infektionsrisiko erhöht, die zur Auslösung einer Infektion erforderliche Menge eines Inokulums vermindert und die Chancen einer erfolgreichen Behandlung reduziert, zeigt die klinische Erfahrung, dass eine knöcherne Stabilität die Infektionsrate reduziert [140], [164], [218], [223]. Dies wird durch Ergebnisse aus Tierstudien unterstützt [168], [266]. Wie Instabilität eine Infektion fördert, ist nicht geklärt; mögliche (Teil-)Mechanismen sind Beeinträchtigungen in der Revaskularisation des verletzten Gewebes, eine anhaltende Gewebeschädigung oder eine Zunahme der Totraumbildung. Dagegen wird die Frakturheilung nicht zwangsläufig durch die Infektion verhindert. Aus diesen Gründen wird die Entfernung eines stabilen inneren Implantats mit Wechsel zu einer externen Fixation trotz kontroverser Diskussion heutzutage nur unter bestimmten Voraussetzungen empfohlen und ein primärer Erhaltungsversuch favorisiert [3], [22], [140], [217].

Für den Therapieerfolg ist ein kombiniertes chirurgisches und antibiotisches Behandlungskonzept entscheidend [72]. Ein in der Behandlung akuter osteosynthese-assoziiierter Infektionen durchgeführtes Standardprotokoll aus chirurgischem Débridement, Erhalt des stabilen Implantats und erregerspezifischer systemischer Antibio-

tikatherapie ergab in einer Studie von Berkes und Mitarbeiter eine infektfreie bzw. -beruhigte knöcherne Ausheilungsrate von 75 % [17]. Ein Therapieversagen trat gehäuft bei offenen Frakturen ($p = 0,03$), intramedullären Nägeln ($p = 0,01$), bei Infektionen mit *Pseudomonas* oder anderen gram-negativen Keimen oder bei Rauchern auf.

Der negative Einfluss des Rauchens wurde auch in einer Studie von Rightmire und Mitarbeitern [207] an einer Patientenkohorte mit einem akuten, innerhalb von drei Wochen nach der primären Osteosynthese auftretenden, implantatassoziierten Frühinfekt bestätigt. Bei stabilem Implantat erfolgte ein Erhaltungsversuch mit Débridement und testgerechter Antibiose; durchschnittlich wurden zwei Revisionen mit chirurgischem Débridement durchgeführt. Bei Therapieversagen trat dieses in der Mehrzahl der Fälle innerhalb von drei Monaten nach der Primäroperation auf. Im Vergleich zu Nichtrauchern zeigten Raucher diesbezüglich ein mindestens drei- bis vierfach und damit signifikant erhöhtes Risiko. Auch die Ergebnisse anderer Autoren konnten zeigen, dass ein Erhaltungsversuch nur bei einem Frühinfekt (Zeitintervall zwischen Osteosynthese und Diagnosestellung: 4 Wochen) erfolgversprechend ist und eine stabile Osteosynthese, ein radikales Débridement sowie einen sicheren Weichteilverschluss voraussetzt [23], [156], [242], [254].

Zur Verbesserung des radikalen Débridements, insbesondere im Bereich des Implantat-Knochen-Interfaces bzw. des Knochens kann das Implantat auch entfernt und eine einzeitige Reosteosynthese durchgeführt werden [110], [113]. Diese ist mit neuem sterilem Osteosynthesematerial durchzuführen; die Wiederverwendung der intraoperativ mechanisch gereinigten Implantate ist aufgrund der durch die Biofilmbildung [47] nur unvollständig möglichen Keimentfernung kontraindiziert [242]. Jeder Erhaltungsversuch, mit oder ohne Wechsel des Implantats, ist mit einer lokalen Antibiose (z. B. Kollagen-Gentamicin-Vlies) [138] und einer suffizienten Drainage zu kombinieren [110].

Bei Persistieren der Infektion erfolgt die Revision ggf. als frühzeitige Metallentfernung nach Abschluss der Knochenheilung (► Abb. 3.8); vereinzelte Autoren favorisieren bis zu diesem Zeitpunkt eine lokale Infektkontrolle durch Einlage einer Dauerdrainage [11], [225]. Bei freiliegenden Implantaten, Knochen, Sehnen oder neurovaskulären Strukturen ist ggf. eine lappenplastische Deckung erforderlich [252]. Bis zum definitiven Verschluss kann ein VAC-Verband eingesetzt werden (► Abb. 3.9) [26], [58], [74], [136], [217].

Infektionen bei instabilem Implantat

Eine Instabilität ist an einer abnormen Beweglichkeit oder radiologisch an einer Implantatdislokation oder an Aufhellungszonen in unmittelbarer Umgebung der Schrauben, Stäbe oder Fixateur-Pins erkennbar. Sie gefährdet die Rückbildung der Infektion und die Heilung



Abb. 3.8 Behandlung einer Infektion bei stabiler innerer Fixierung. Dieser Patient erlitt eine offene Tibiafraktur, die mit Spülung, Débridement und aufgebohrtem Marknagel operativ versorgt wurde. Acht Wochen postoperativ kam es zu einer Schwellung, Rötung und Sekretion aus der offenen Wunde. Es erfolgte eine Spülung mit Débridement und Probenentnahme zur bakteriologischen Untersuchung, gefolgt von Wundkontrollen und Antibiotikatherapie.

a Der die Stabilität gewährleistende Nagel wurde bis zur Frakturheilung erhalten.

b Aufnahme der Wunde über der ventralen Tibia nach Frakturheilung. Bei persistierender intermittierender Wundsekretion erfolgte die operative Revision mit Exzision des Narbengewebes, Entfernung des Nagels, intramedullärem Débridement und Implantation von resorbierbaren Antibiotikakugeln.

c Aufnahme der Wunde nach Débridement und Sequesteromie.

d Implantation von Antibiotikakugeln und nachfolgender Weichteilverschluss durch fasziokutane Schwenklappen.

e Klinisches Bild nach Abheilung ohne Infektrezidiv nach 1 Jahr.

f A.-p. Röntgenaufnahme nach Abheilung ohne Infektrezidiv nach 1 Jahr.

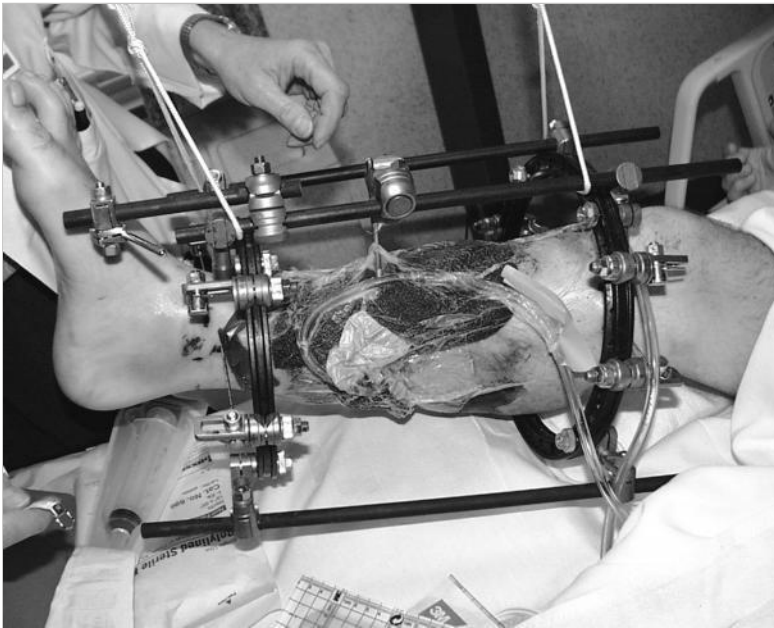


Abb. 3.9 VAC-Verband. Nach Débridement und Fixateur-externe-Stabilisierung einer offenen Tibiafraktur.

der Fraktur. Die implantatassoziierte Osteitis ist durch die Bildung bakterieller Biofilme auf den Implantaten verursacht [49]. In eine extrazelluläre Polymermatrix („Schleim“) eingebettet, sind Bakterien im Biofilm relativ resistent gegenüber vielen Antibiotika [190] und möglicherweise auch gegenüber der körpereigenen Abwehr [48], sodass diese nicht in der Lage ist, die Infektion zu kontrollieren. Folge der konsekutiven lokalen Entzündungsreaktion ist die progressive Zerstörung des Gewebes bis hin zur Osteolyse [253], [254]. Aus diesen Gründen sollte das Implantat bei Instabilität oder bei Frakturdislokation entfernt werden (► Abb. 3.10) [22], [23], [217], [242].

Der negative Einfluss einer Instabilität ist anhand eines Osteosynthese-Infektions-Modells in Tierstudien belegt. In einer Studie von Merritt und Dowd [168] waren die innerhalb von zwei Wochen aufgetretenen postoperativen Infektionsraten bei stabil mittels Osteosynthese versorgten Frakturen im Vergleich zu instabilen Frakturen mit gelockerten Pins geringer, ebenso die Inzidenz der durch *S. aureus* oder andere gram-positive Keime verursachten Infektionen. Dagegen konnten gram-negative Infektionen nur durch Entfernung des Implantats eradiziert werden. Ähnliche Ergebnisse hatte bereits die Studie von Friedrich und Klaue [78] gezeigt, in der bei 45 % der instabilen Frakturen eine Infektion auftrat, dagegen nach rigider Fixierung nie.

Débridement

Die Stabilität ist während des Débridements im Rahmen des initialen Revisionseingriffs zu überprüfen. Ein radikales Débridement ist der Schlüssel zur möglichen Eradikation der Infektion [110], [112]. Hierbei müssen devasku-

larisierte, avitale Knochenfragmente (► Abb. 3.8) [40], [90], [154], aber auch ausgedünnte, vernarbte Hautareale, Fistelkanäle und das gesamte infizierte und nekrotische Weichteilgewebe entfernt werden [110]. Auch die das infizierte Implantat umgebende derbe, fibröse Gewebeschicht ist vollständig zu exzidieren, wobei das Periost nicht durch Elevatoren oder Retraktoren vom vitalen Knochen abgelöst werden darf (► Abb. 3.8). Um das Ausmaß der erforderlichen Knochenresektion festzulegen, wird der kortikale Knochen bei offener Blutsperre unter Kühlung mit Spüllösung schonend mit einer Hochgeschwindigkeitsfräse eröffnet. Dabei auftretende punktförmige Blutungen aus dem Knochen sind als „Paprikazeichen“ Ausdruck einer ausreichenden Durchblutung und Vitalität des Knochens [3], [154].

Bei Nagelosteosynthese mit auf den Markraum begrenzter Infektion, wird dieser nach Entfernung des infizierten Implantats durch Aufbohren mit einer flexiblen, den Nageldurchmesser um 1–2 mm überschreitenden Markraumfräse débridiert, wobei eine Devitalisierung des kortikalen Knochens zu vermeiden ist. Dies gilt insbesondere bei instabiler Plattenosteosynthese mit Verfahrenswechsel auf eine Marknagelung, bei der durch ein mögliches Ablösen des Periosts mit nachfolgendem Fräsen der endostalen Gefäße ein beträchtliches Risiko eines langstreckigen Sequesters besteht. Dieses kann durch ein zweizeitiges Vorgehen mit sechswöchigem Intervall reduziert werden [154], [240]. Zur Reduktion möglicher Hitzeschäden sollte das Aufbohren bei offener Blutsperre, langsam und unter Spülung erfolgen. Ein Bohrloch in der distalen Tibia ermöglicht hierbei die Lavage des Markraums bei konstantem Abfluss [240], [246]. Eine Infekt-sanierung mit kulturnegativer Wunde kann ein sequenzielles Débridement erfordern [40], [192].



- ◀ **Abb. 3.10 Behandlung einer akuten Osteitis.** Dieser Patient wurde mit einer akuten Osteitis nach Tibiamarknagelung einer offenen Tibiaschaftfraktur vorstellig.
- a Röntgenologisch zeigen sich implantatassoziierte Aufhellungen um den Nagel und die Verriegelungsbolzen, des Weiteren liegt eine Achsabweichung vor. A.–p. Aufnahme.
 - b Röntgenologisch zeigen sich implantatassoziierte Aufhellungen um den Nagel und die Verriegelungsbolzen, des Weiteren liegt eine Achsabweichung vor. Seitliche Aufnahme.
 - c Nach Entfernung des Nagels und Débridement der Markhöhle erfolgte ein Totraummanagement mit einem intramedullär eingebrachten Stab aus antibiotikaimprägniertem Polymethylmethacrylat (PMMA). A.–p. Aufnahme.
 - d Nach Entfernung des Nagels und Débridement der Markhöhle erfolgte ein Totraummanagement mit einem intramedullär eingebrachten Stab aus antibiotikaimprägniertem Polymethylmethacrylat (PMMA). Seitliche Aufnahme.
 - e Nach sechswöchiger testgerechter Antibiose wurde der Stab entfernt und eine schrittweise mehrdimensionale Korrektur (Achse, Länge und Rotation) mit einem zirkulären Ringfixateur durchgeführt.
 - f Durch geschlossene Distraction kam es zur Ausbildung eines ausreichenden Regeneratknochens, eine Knochentransplantation war nicht erforderlich. Nach insgesamt 15-wöchiger Behandlungszeit wurde eine knöcherne Konsolidierung der Fraktur bei Infektfreiheit erreicht. A.–p. Aufnahme.
 - g Nach geschlossener Distraction kam es zur Ausbildung eines ausreichenden Regeneratknochens, eine Knochentransplantation war nicht erforderlich. Nach insgesamt 15-wöchiger Behandlungszeit wurde eine knöcherne Konsolidierung der Fraktur bei Infektfreiheit erreicht. Seitliche Aufnahme.

Defektmanagement

Der durch Entfernung von Implantat und Knochen entstehende Defekt erfordert eine Rekonstruktion mit vitalem Gewebe. Temporär kommen lokale Antibiotikasyndrome (S.98), z. B. Antibiotikaketten, zum Einsatz [112]. Neben der Resektion des avitalen Gewebes ist ein stabiler Weichteilmantel unverzichtbarer Bestandteil der Infektionskontrolle. Bei akuten oder subakuten Wundinfektionen wird ein primärer Weichteilverschluss angestrebt. Oft ist dieser jedoch nicht möglich und erfordert eine spätere Deckung mittels Schwenk- oder freier Lappenplastik.

Knochendefekte können temporär mit Antibiotikaketten aufgefüllt werden, die auch im Rahmen des Totraum-Managements in der Initialtherapie offener Frakturen die Inzidenz von Infektionen wirksam verringern. Bei offenen Frakturen vom Typ 2 reduzieren in „Antibiotic-Bead-Pouch“-Technik eingebrachte Antibiotikakugeln die Infektionsraten von 15–20% auf 3–4%; analog bei Typ 3 von 20–44% auf 4% [107], [108], [133].

Die Möglichkeit, die eingebrachten Antibiotikakugeln mit einer Unterdruckbehandlung zu kombinieren, wurde als attraktives Therapiekonzept für das Totraum-Management dieser Verletzungen angesehen. Die Effektivität einer solchen Kombinationstherapie bei muskuloskeletalen Wunden wurde in neueren Studien an einem komplexen Tiermodell untersucht [235]; hierbei zeigte die Kombinationstherapie eine im Vergleich zur alleinigen Verwendung von Antibiotikakugeln sechsfach höhere Bakterienlast der Wunden. Dass gleichzeitig hohe Antibiotikaspiegel im durch das Schlauchsystem abgeleiteten Wundexsudat nachgewiesen wurden, zeigte, dass die Unterdrucktherapie zu einer Elution und Entfernung der Antibiotika führt. Aufgrund der dadurch reduzierten Wirksamkeit der lokalen Antibiotikaketten sollten diese daher nicht mit einer Unterdrucktherapie kombiniert werden [235].

Externe Fixation

Die knöcherne Stabilisierung nach Entfernung des Implantats erfolgt am häufigsten mittels einer externen Fixation. Durch die Stabilität werden die Entzündungsphase der Frakturheilung und eine Infektion deutlich reduziert. Art und Form des Fixateurs externe sind abhängig von der Wundlokalisation und der Komplexität der Fraktur. Zur Kontrolle der Frakturfragmente sind bei weniger stabilen Frakturen komplexere Rahmen erforderlich. Da externe Fixationen eine aktive Kompression der Frakturfragmente ermöglichen, können durch sie sekundäre, durch eine Trümmerzone entstandene Frakturspalte oder kleinste Knochendefekte direkt geschlossen werden. Durch Achsabweichung bedingte sekundäre Frakturspalte lassen sich sequenziell durch Ringfixateure oder ausgewählte monolaterale Fixateure mit dreidimensionaler Justierbarkeit korrigieren.

Um einen zusätzlichen Knochenverlust durch Inaktivitätsatrophie zu vermeiden, sollte die Konstruktion eine Belastung der Extremität erlauben. Bei Vorliegen einer periartikulären Infektion wird die Stabilität durch einen gelenküberbrückenden Fixateur externe erreicht. Dieser erlaubt ein radikales Débridement mit nachfolgender Rekonstruktion, da die Pins auf beiden Seiten des Gelenks außerhalb des Defekts platziert werden (► Abb. 3.11).

Bei extraartikulärer Lokalisation ist die Anlage eines Ilizarov-Ringfixateurs vorteilhaft, da er nicht nur eine Belastungsfähigkeit, sondern auch eine Korrektur von Deformitäten oder Achsabweichungen ermöglicht (► Abb. 3.12). Zusätzlich kann eine Kompression oder Distraction potenzieller Pseudarthrosebereiche erreicht werden. Die Technik nach Ilizarov erlaubt die Rekonstruktion segmentaler Knochendefekte und schwieriger infizierter Frakturen [33], [52], [187], [239], wird jedoch heutzutage leider selten eingesetzt [112].

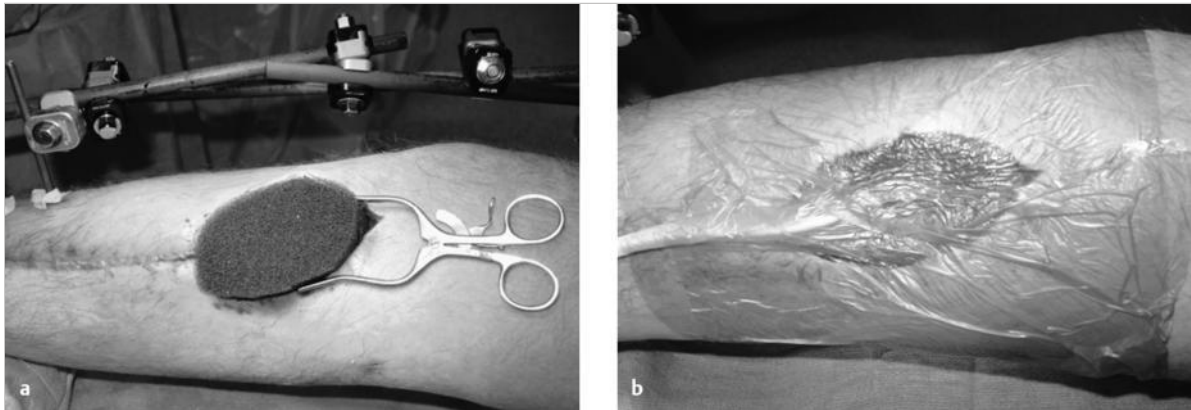


Abb. 3.11 Temporäre externe Stabilisierung. Nach offener Reposition und innerer Fixation bei Tibiakopffraktur mit Kompartmentsyndrom kam es 5 Wochen postoperativ zum Auftreten einer subakuten Infektion. Während der Revisionen mit sequenziellem Débridement, Entfernung des Implantats und Einlage lokaler Antibiotikaketten wurde die temporäre Stabilisierung durch einen kniegelenküberbrückenden Fixateur externe gewährleistet. Nach Eradikation der Infektion und Rekonstruktion der Weichteile mittels Schenkklappen wurde eine Reosteosynthese mit Formplatte und Knochentransplantation durchgeführt.

- a** Da ein primärer Wundverschluss nach Débridement nicht möglich war, wurde bei kniegelenküberbrückendem Fixateur externe (Pins in Femur und Tibia) ein VAC-Schwamm eingesetzt.
b VAC-System nach Soganlage.

Mit der Weiterentwicklung externer Fixationssysteme und -techniken entstand die Möglichkeit, komplexe Deformitäten und Achsabweichungen mit einem Montagesystem gleichzeitig zu korrigieren. Diesbezüglich stellt der Taylor Spatial Frame (TSF, Smith & Nephew) eines der innovativsten Fixateursysteme dar. Da durch sechs längenverstellbare Streben eine simultane Korrektur in jeder Richtung und Ebene ermöglicht wird, kann der trotz aufwändiger Technik einfach anwendbare TSF Hexapod-Ringfixateur zur kontinuierlichen Korrektur von Frakturen sowie von posttraumatischen Deformitäten eingesetzt werden. Die Korrektur erfolgt mit Computerunterstützung; nach Analyse der Fehlstellungen wird mit der entsprechenden Software ein Behandlungsleitfaden anhand der vom Operateur vorgegebenen Parameter erstellt [123], [167].

3.5.3 Chronische Infektionen

In der Therapie der chronischen Osteitis hat sich ein Stufenplan bewährt [111], [217]. Im Rahmen eines interdisziplinären Behandlungskonzepts sind zur Infektsanierung, Weichteildeckung und Rekonstruktion des knöchernen Defekts meist mehrere operative Eingriffe erforderlich [152].

Débridement

Der erste Schritt ist das kompromisslose, radikale Débridement mit Entfernung des avitalen, infizierten Weichteil- und Knochengewebes sowie des Fremdmaterials, idealerweise onkologischen Kriterien folgend [113],

[217]. Nur Gefäße und Nerven sind als vitale Strukturen zu schonen, ein Erhaltungsversuch einer nekrotischen Sehne ist jedoch nicht sinnvoll [112]. Die Resektionsgrenzen werden durch gesundes, blutendes Gewebe festgelegt. Am Knochen kann hierzu eine Hochgeschwindigkeitsfräse (S.95) eingesetzt werden. Auch sklerotischer oder sequestrierter Knochen ist zu entfernen, wobei ein Ablösen des vitalen Periosts vom Knochen zu vermeiden ist. Bei Instabilität ist eine Stabilisierung erforderlich, die aufgrund des niedrigen Metallindex vorzugsweise durch einen Fixateur externe (S.97) erfolgt.

Lokale Antibiotikatherapie

Additiv zur chirurgischen Therapie wird eine systemische Antibiose durchgeführt. Zur Unterstützung und Defektfüllung werden nach Débridement und Spülung (z. B. Jet-Lavage) lokale Wirkstoffträger in den Situs eingesetzt, die als Platzhalter und Antibiotikaträger der Vorbereitung des Defektareals zur knöchernen und/oder plastischen Rekonstruktion dienen [111], [138], [217].

Zum Einsatz kommen vor allem antibiotikahaltige Kollagenschwämme oder antibiotikaimprägnierte Polymethylmethacrylat-(PMMA-)Zemente in Kettenform oder als größere Spacer in formbarer Applikation [22], [111], [138], [217]. Sie ermöglichen eine hohe lokale Antibiotikakonzentration unter Vermeidung einer systemischen Toxizität. Die Freisetzung des Antibiotikums aus PMMA erfolgt durch Diffusion und ist signifikant von der Zusammensetzung und der Oberfläche der Zemente abhängig. Je größer die Zementoberfläche, desto höher sind die freisetzende Fläche und die Elutionsrate [138], [255]. Je

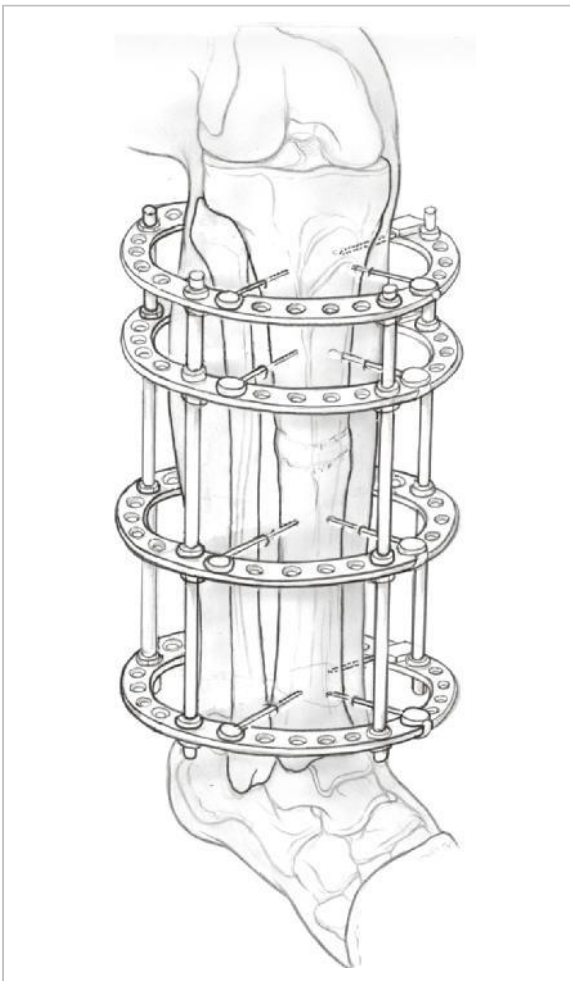


Abb. 3.12 Ilizarov-Ringfixateur. Zur Korrektur von Deformitäten und zur Distraktionsosteogenese eingesetzt. Zur Fixierung der Ringe werden gespannte Drähte allein (wie dargestellt) oder in Kombination mit Schanz-Schrauben verwendet.

hydrophiler die PMMA-Präparation, desto besser ist der Knochenzement zur Antibiotikafreisetzung geeignet [79]. Obwohl der Hauptanteil des Wirkstoffs in den ersten 24 Stunden freigesetzt wird, lassen sich therapeutische Medikamentenspiegel gelegentlich bis zu 90 Tage nachweisen. Hierbei ist zu beachten, dass die Gewebekonzentrationen im Vergleich zu den Elutionsversuchen höher und länger anhaltend sein können. Lokal um Ketten gemessene Gentamicinkonzentrationen können bis zu 200-mal höher sein als erreichbare Gewebespiegel nach systemischer Applikation [255]. Die im Serum und Urin erreichbaren Konzentrationen sind im Vergleich zu den Gewebekonzentrationen mindestens fünf- bis zehnmals geringer und daher in den meisten Studien nicht nachweisbar.

Im Vergleich zur systemischen Antibiose konnten antibiotikaimprägnierte PMMA-Ketten in Tierversuchen ähnliche oder bessere Ergebnisse bei Osteitis erzielen [230],

[70]. Am Kaninchenmodell mit kontaminiertem nekrotischem Knochen zeigte der kombinierte Einsatz mit Ketten eine im Vergleich zur alleinigen systemischen Antibiose signifikant verbesserte Eradikationsrate [37]. Während nekrotische Knochenareale durch systemische Antibiotika nicht erreicht werden können, zeigen lokal freigesetzte Antibiotika hohe Konzentrationsspiegel. Die verbesserte Wirksamkeit bei Kombination der Antibiotikaketten mit einer systemischen Antibiose bei chronischer Osteitis konnte auch in klinischen Studien bestätigt werden. Entgegen der gängigen Meinung, dass die eingebrachten Ketten wieder entfernt werden müssen, zeigte das Belassen der Ketten in situ in einer retrospektiven Studie verbesserte Ergebnisse [108].

Zahlreiche Antibiotika werden in Kugeln bzw. Ketten eingesetzt [80]. Das gewählte Antibiotikum muss dazu wasserlöslich, gut verträglich, hitzestabil, in niedrigen Konzentrationen, bakterizid und in Pulverform verfügbar sein, sowie ein breites Wirkungsspektrum besitzen. Die Auswahl ist im Einzelfall anhand des Erregers und seiner individuellen Resistenz festzulegen [80]. In der derzeit handelsüblichen PMMA-Zementen finden sich lediglich sechs industriell, alleine oder in Kombination, zugemischte Antibiotika [138]. Ein gebräuchliches Beispiel im klinischen Einsatz ist die Kombination von Tobramycin mit Vancomycin.

Berichten zufolge zeigt Palacos-Knochenzement eine im Vergleich zu anderen Knochenzementen bessere Antibiotikafreisetzung. Die Autoren verwenden dazu in der Regel eine Mischung aus 2,4 g (2 Ampullen) Tobramycinpulver und 40 g PMMA. Das Zumischen einer größeren Antibiotikamenge ist möglich; da jedoch jede Zumischung von Stoffen die biomechanischen Eigenschaften von Knochenzement verschlechtert, sollte ein Zuschlag von 10 % nicht überschritten werden [80]. Für das nachträgliche manuelle Zumischen werden 4 g Antibiotikum auf 40 g Zementpulver (100 %-Regel) als Obergrenze empfohlen [80], [104], [138]. Beim Zumischen müssen synergistische und antagonistische Einflüsse berücksichtigt werden [138]. Die Mischung wird mittels einer kommerziellen Gussform oder manuell per Hand zu Kugeln geformt und auf einen Draht oder Faden aufgereiht (► Abb. 3.13). Diese Ketten können in sterilen Behältern bei Raumtemperatur über einen langen Zeitraum gelagert werden.

Bei Verwendung von Antibiotikaketten sollte die Wunde durch eine Lappenplastik oder eine semipermeable Membran („Antibiotic-Bead-Pouch“-Technik) verschlossen werden (► Abb. 3.14). Nach Entfernung eines Marknagels in die Markhöhle eingebrachte Antibiotikaketten bieten keine mechanische Abstützung. Außerdem müssen sie innerhalb von 10–14 Tagen entfernt werden, da eine spätere Entfernung extrem schwierig sein kann [133], [154], [246].

Als Alternative können Antibiotikazementstäbe eingesetzt werden, die die erforderliche Stabilität bieten und

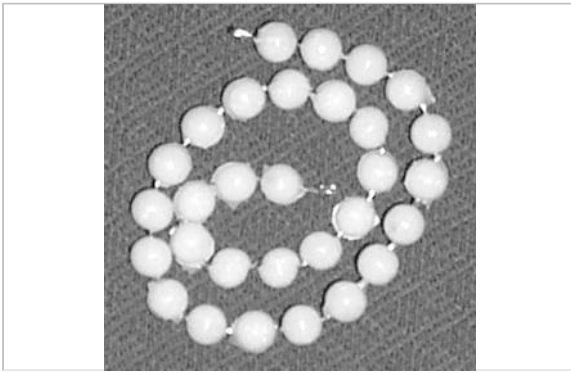


Abb. 3.13 Antibiotikakette. Mittels Ausgussform hergestellte Polymethylmethacrylat-Antibiotika-Kugeln in Kettenform auf einem Draht.



Abb. 3.14 „Antibiotic-Bead-Pouch“-Technik. Nach initialem Débridement bei offener Tibiafraktur wird die Wunde nach Einlegen der Antibiotikakette mit einer Membran verschlossen.

sich intraoperativ mithilfe verschiedener Thoraxdrainagen als Gussform individuell anfertigen lassen [187]. Die Auswahl der Thoraxdrainage richtet sich nach ihrem Innendurchmesser, wobei der extrahierte Nagel als Schablone für die Länge und den Durchmesser des herzustellenden Stabes benutzt wird. Zur Fertigung wird zunächst ein vorgebogener 3-mm-Führungsdraht in der Mitte der Thoraxdrainage platziert. Anschließend wird das flüssige Zement-Antibiotika-Gemisch mit einer Zementpistole in die Thoraxdrainage injiziert und damit der Metallführungsstab ummantelt. Nach Aushärten wird die Thoraxdrainage längsinzidiert und vom intakten Zementstab ab-

gestreift. Dieser wird nach gründlichem Débridement in die Markhöhle eingeführt und gewährleistet eine lokale Antibiose bei mechanischer Stabilität (► Abb. 3.10). Sind weitere Débridements erforderlich, wird der Stab gewechselt und beim definitiven Weichteilverschluss in der Markhöhle belassen. Die Re-Osteosynthese kann in der Regel nach einem sechs- bis achtwöchigen Intervall durchgeführt werden.

Neben PMMA werden unter anderem auch autologe oder allogene Knochentransplantate oder Knochenersatzwerkstoffe als Wirkstoffträger eingesetzt [138]. Mit dem Ziel, Antibiotika durch verbesserte Freisetzung lokal zur Verfügung zu stellen, ohne dass der Träger wieder entfernt werden muss, wurde eine Vielzahl bioresorbierbarer Trägermaterialien getestet. Diese umfassen demineralisierte Knochenmatrix, Knochenspäne [170], lyophilisiertes humanes Fibrin, Polyglykolsäure (PGA) [81], und Polycaprolacton (PCL) [213].

Im klinischen Alltag werden am häufigsten Kalziumsulfatkugeln eingesetzt, deren Substanz osteokonduktiv ist und gleichzeitig als Knochenersatzstoff verwendet werden kann. Da Kalziumsulfatkugeln vom Körper absorbiert werden, sollten sie die gesamte Antibiotikamenge freisetzen. Im Gegensatz dazu werden bei PMMA nur ca. 20% des Medikaments freigesetzt. In einer Studie an 25 Patienten mit posttraumatischen infizierten Defekten der langen Röhrenknochen führte die Behandlung mit antibiotikumimprägnierten Kalziumsulfatkugeln in 23 Fällen (92%) zur Eradikation der Infektion und in 14 von 16 Fällen zur Ausheilung der Pseudarthrose (bei 9 Patienten war eine Knochentransplantation erforderlich). Einige Patienten zeigten eine sterile Sekretion, die nach Resorption der Kugeln sistierte [165].

Weichteildeckung

Die Sanierung der Weichteildefekte verbessert den Blutfluss und bildet eine intakte Schutzbarriere [111]. Die Weichteildeckung kann durch einen primären Verschluss erreicht werden, erfordert jedoch häufig eine Lappenplastik, bei der lokale Schwenklappen oder freie Lappen zur Anwendung kommen [113], [142]. Muskellappen sind stark vaskularisiert und verbessern durch den erhöhten Blutfluss die zellulären und humoralen Abwehrmechanismen sowie die Wirkung systemischer Antibiotika und damit die lokale Infektionsresistenz in diesem Bereich [212], [261].

Art und Zeitpunkt der plastischen Deckung sind vor der ersten Operation zu planen; die zur Verfügung stehenden Techniken sind in Kap. 2 detailliert ausgeführt. Lappenplastik und knöcherne Rekonstruktion können zweizeitig [246], aber auch einzeitig in gleicher Sitzung durchgeführt werden [172]. Hierbei ist zu beachten, dass ein freier Lappen eine erneute Hebung erst nach ca. 6–8 Wochen toleriert. Wird nach radikalem Débridement eine primäre Muskellappenplastik durchgeführt, kann die

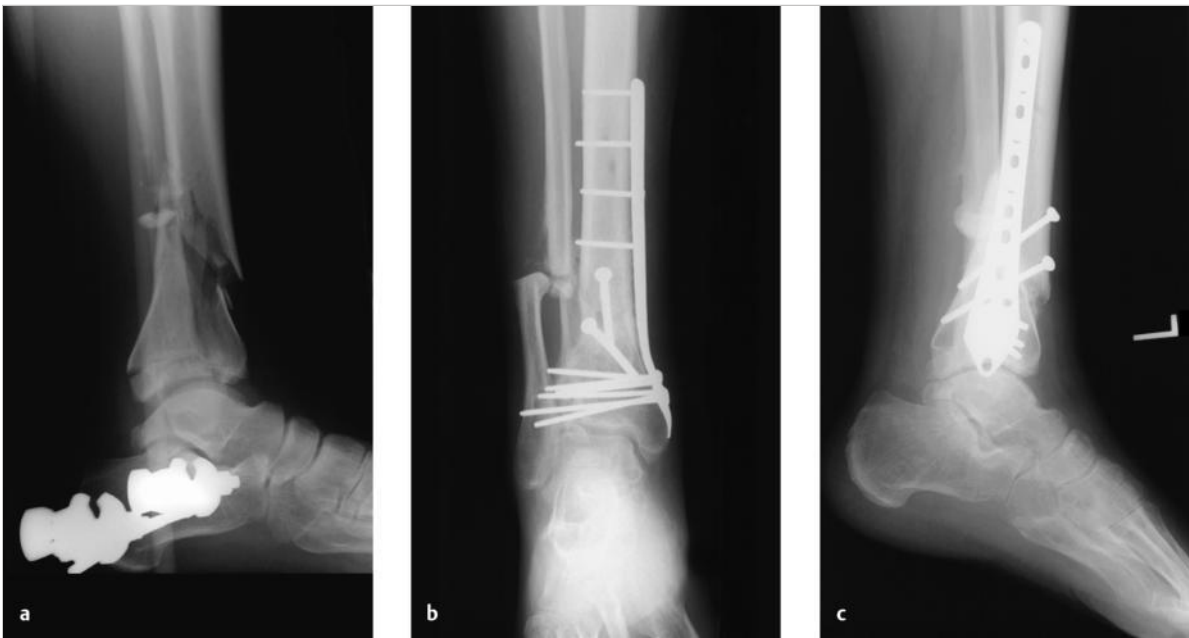


Abb. 3.15 Rekonstruktion knöcherner Defekte. Nach initialer Therapie einer offenen distalen Tibiafraktur mittels Wundversorgung und Gipsverband kam es zur Ausbildung einer akuten Infektion bei ansonsten guten Weichteilverhältnissen.

- a** Die Behandlung erfolgte mittels Débridement, Spülung und Anlage eines Sprunggelenk-überbrückenden Fixateur externe. Nach Konsolidierung der Weichteile wurde der Fixateur entfernt, um ein Abheilen der Pin-Eintrittsstellen vor definitiver Rekonstruktion zu ermöglichen.
- b** Nach Plattenosteosynthese und Knochentransplantation wurde eine infektfreie Ausheilung erreicht. A.-p. Aufnahme.
- c** Nach Plattenosteosynthese und Knochentransplantation wurde eine infektfreie Ausheilung erreicht. Seitliche Aufnahme.

Zeitdauer der intravenösen Antibiotikatherapie auf zwei Wochen verkürzt werden. Eine Studie an 27 Patienten mit einer Osteitis der unteren Extremität ergab eine bis zu 90 %ige Erfolgsrate [6].

Der freie Gewebetransfer ist eine technisch anspruchsvolle Technik mit hoher Komplikationsrate, Spendermorbidity und Risiko eines Lappenversagens. Patienten mit segmentalen Defekten und Instabilität zeigen trotz erfolgreicher Weichteildeckung eine höhere Infektrezidivrate, was die Rolle der Frakturstabilität bei der Infektionskontrolle verdeutlicht [261].

Rekonstruktion knöcherner Defekte

Das nach radikalem Débridement verbleibende Gewebe besitzt mitunter eine osteogenetische Potenz, wobei übermäßige Bewegung jedoch die Heilung hindert. Auch eingeschlagenes fibrocartilaginäres Gewebe verfügt über osteogenetische Potenz, die genutzt werden kann, sobald Torsions- und Achseninstabilitäten beseitigt sind. Sind Stabilität und Durchblutung gegeben, differenzieren die pluripotenten Zellen im Frakturbereich selektiv in die osteogenetische Vorläuferlinie [33]. In diesem Fall kann eine Frakturheilung durch eine Vielzahl innerer Fixationstechniken erreicht werden. Die durch Marknagelung erzielte

Stabilität zeigt bei Kombination mit einer Antibiotikatherapie exzellente Ergebnisse, wogegen nach Rekonstruktion der Weichteile und Vorliegen stabiler Wundverhältnisse im metaphysären Bereich ausgewählte Plattentechniken erfolgreich sind (► Abb. 3.15).

Nach Débridement resultieren häufig ausgedehnte knöcherne Defekte, die die Heilungskapazität des Knochens überschreiten. Sind signifikante Anteile der Gelenkfläche betroffen, sind die Möglichkeiten der Rekonstruktion limitiert. Mitunter kann die Resektion eines infizierten Gelenks durch Implantation eines antibiotikaimprägnierten Zement-Spacers, eine systemische Antibiose und letztendlich einen prothetischen Gelenkersatz erfolgreich behandelt werden. Oftmals ist jedoch eine Arthrodesse, eine Resektionsarthroplastik oder eine Amputation erforderlich, insbesondere bei gefährdeten Patienten oder bei Vorliegen multipler oder resistenter Keime. Betrifft die Knochenresektion dagegen überwiegend die Diaphyse oder Metaphyse, stehen zur Wiederherstellung der Knochenkontinuität mehrere Rekonstruktionsverfahren zur Verfügung [103], [111], [113], oftmals im Rahmen eines multimodalen Konzepts [205].

Die Methoden, biologische Stimuli zur Knochenrekonstruktion zu applizieren, sind vielfältig; die traditionellen Techniken umfassen die autogene Knochentransplanta-

tion, das intramedulläre Aufbohren, die mikrovaskulären Gewebetransfers (Muskel und Knochen) und die Distraktionsosteogenese bzw. Kallusdistraktion. Andere Modalitäten wirken als biologische „Starthilfe“; hierzu gehören die Elektrostimulation und die Ultraschallanwendung.

In jüngster Zeit konnte in tier- und humanexperimentellen Pseudarthrose-Studien gezeigt werden, dass die Injektion oder Implantation von Wachstumsfaktoren zur Stimulation des Knochenwachstums bzw. von autogenen Knochenzellaspiraten die Knochenheilung fördert. Neue Kombinationstransplantate („composite grafts“), wie z. B. aus wiederaufbereiteten allograftbasierten Proteingemischen („demineralized bone matrix“, DBM) und Knochenzellaspiraten [148], die vaskularisierte pseudosynoviale Membran bei der Masquelet-Technik [194], [215] bzw. die Defektüberbrückung mittels eines zylindrischen Titan-Netzkäfigs („cylindrical mesh cage“) [10] eingesetzt werden, sind ebenfalls bewährte Methoden in der Rekonstruktion segmentaler Knochendefekte.

Autogene Knochentransplantate zeigen die schnellste und zuverlässigste Heilung, sind jedoch in ihrer Menge limitiert und mit einer Hebmorbidität assoziiert. Allogener Knochen kann in spongioser oder kortikaler Form bzw. als aufbereitete demineralisierte Knochenmatrix verwendet werden [265]. Bei der Distraktionsosteogenese bzw. Kallusdistraktion wird mithilfe externer Fixationstechniken ein kontinuierlicher Zug auf einen sich bildenden Kallus ausgeübt und dadurch Knochen regeneriert. In einzelnen Fällen kann auch eine primäre Verkürzung geeignet sein [13], [103], [111], [140].

Knochentransplantate besitzen drei potenzielle Funktionen: Osteogenese, Osteokonduktion und strukturelles Stützgerüst.

Osteogenese kann durch zwei Mechanismen erfolgen: Oberflächlich gelegene Osteoblasten können die Transplantation durch Ernährung mittels Diffusion überleben und durch Proliferation verstärkt vitales Knochengewebe bilden. Im Vergleich zum kortikalen besitzt spongiöser Knochen eine größere Oberfläche und damit ein höheres Überlebenspotenzial. Knochenneubildung kann auch durch Umwandlung undifferenzierter mesenchymaler Vorläuferzellen in knochenformierende Osteoprogenitorzellen erfolgen. Dieser als Osteoinduktion bezeichnete Prozess wird durch aus dem Transplantat stammende Wachstumsfaktoren, wie beispielsweise Bone Morphogenetic Proteins (BMP), Transforming Growth Factor β (TGF- β), Insulin-like Growth Factor 1 und 2 (IGF1/2) oder Platelet-Derived Growth Factor (PDGF) stimuliert und reguliert. Die osteoinduktive Wirkung autologer Knochentransplantate ist deutlich höher als die der allogenen Transplantate [15], [205], [222].

Bei der Osteokonduktion dient das avitale Transplantat als Leitstruktur für das Einwachsen ortsständiger Zellen. Der dreidimensionale Prozess beinhaltet die Gefäßproliferation und das Einsprossen von Kapillaren entlang der freien Zwischenräume sowie die Differenzierung der Zel-

len mit Bildung und Remodelling des Knochens. Das eingebrachte Transplantat wird hierbei „schleichend“ substituiert. Die dritte Funktion besteht in der Bereitstellung eines strukturellen Stützgerüsts. Im Bereich der Diaphyse ist hierzu ein kortikales Transplantat erforderlich; zur Auffüllung metaphysärer Defekte bzw. zur Abstützung von Gelenkflächen (z. B. Tibiaplateau) kann spongiöser Knochen eingesetzt werden.

Die Wirtsreaktion nach Knochentransplantation verläuft in fünf Phasen, deren Dauer von der Art des Transplantats abhängig ist. Die in den ersten beiden Stadien, Blutung und Entzündung, produzierten aktiven Zytokine unterstützen die Initiierung späterer Phasen. Die dritte Phase umfasst die Gefäßproliferation und die Einsprossung von Kapillaren, wobei das mitgeführte perivaskuläre Gewebe mesenchymale Zellen enthält, die zu Osteoprogenitorzelllinien differenzieren können. In der vierten Phase erfolgt die osteoklastische Resorption der avaskulären Transplantatlamellen bei simultaner Produktion neuer Knochenmatrix durch Osteoblasten. In der letzten Phase kommt es dann zum Remodelling und zur Reorientierung des neugebildeten Knochens entsprechend der mechanischen Belastung [219].

Autogene Spongiosa zeigt die schnellste Einheilung, avaskulärer kortikaler Knochen die langsamste. Im Hundemodell durchlaufen autogene und allogene Transplantate die gleichen Phasen, wobei die Geschwindigkeit und Dynamik bei den allogenen Transplantaten jedoch um die Hälfte verringert ist. Im Vergleich zu Hunden scheint dieser Prozess beim Menschen langsamer abzulaufen. Bei avaskulären kortikal abstützenden allogenen Transplantaten kann der Einbau durch „schleichenden Ersatz“ Jahre dauern, in vielen Fällen bleibt ein vollständiger Ersatz sogar aus.

Autologe Spongiosaplastik

Frisch entnommene autogene Spongiosa ist die zuverlässigste Form der Knochentransplantation: Sie besitzt die kürzeste Heilungszeit und stellt den „Goldstandard“ für Defekte bis 4 cm dar [111], [265]. Ihre trabekuläre Struktur unterstützt eine rasche Revaskularisation, sodass ein 5 mm großes Transplantat innerhalb von 20–25 Tagen vollständig revaskularisiert sein kann. Die große Oberfläche erlaubt das Überleben zahlreicher Transplantatzellen. Zur Optimierung sollte das Transplantat nach Entnahme in gekühlter Kochsalzlösung oder Blut aufbewahrt und ein Austrocknen vermieden werden. Spongiosa bietet kein strukturelles Stützgerüst, außer bei metaphysären Defekten wie beispielsweise umschriebenen Tibiakopf-impressionsfrakturen, bei denen eine fest verdichtete Spongiosaplastik die Gelenkfläche abstützen kann. Die autogene Spongiosaplastik ist abhängig vom Einsprossen der Wirtsgefäße und zeigt die besten Ergebnisse bei gut durchblutetem Transplantatbett (► Abb. 3.16).

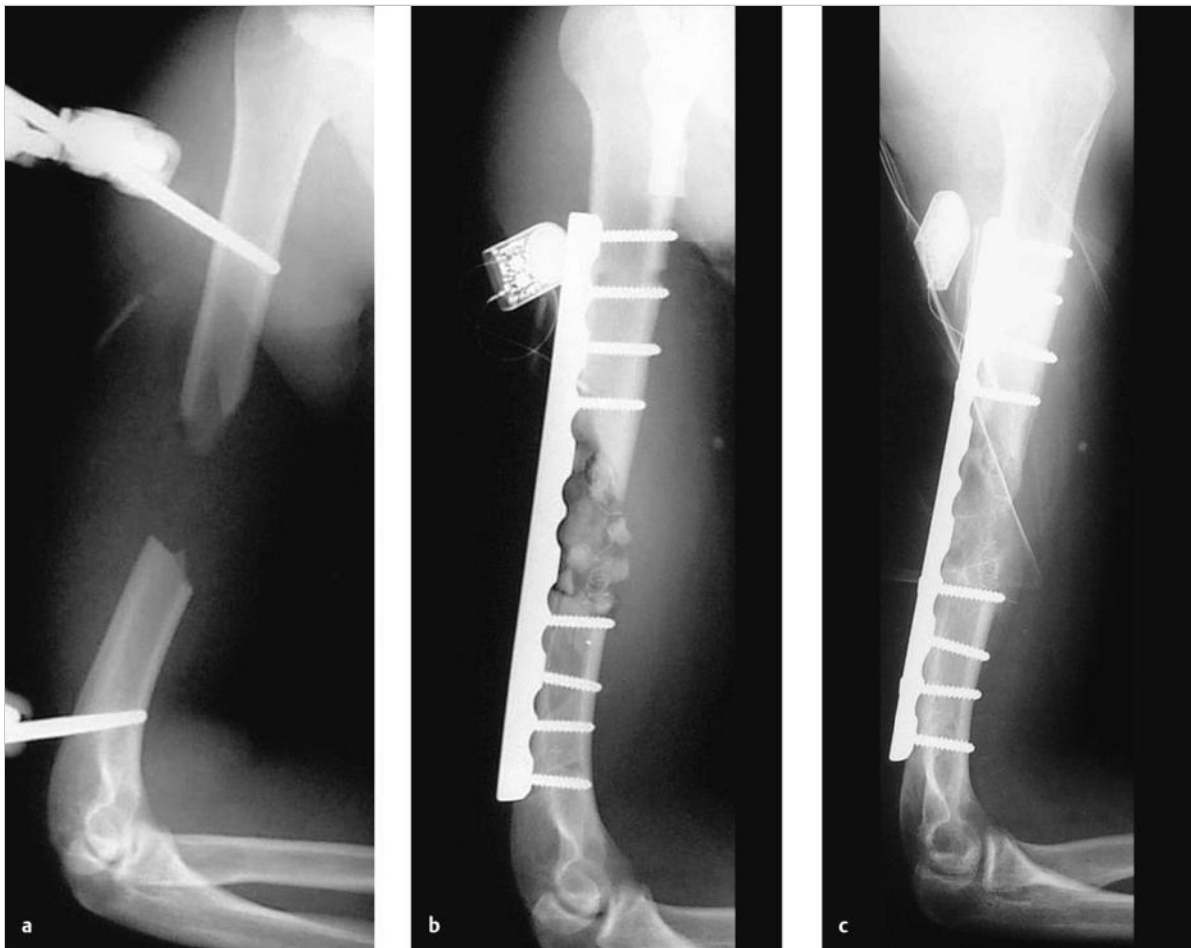


Abb. 3.16 Autologe Spongiosaplastik. Röntgenaufnahmen eines jungen männlichen Patienten mit offener Humerusfraktur und segmentalem Knochendefekt nach Verkehrsunfall.

a Nach Spülung, Débridement und Fixateuranlage zeigt sich ein großer verbleibender diaphysärer Defekt.

b Nach Abheilen der Weichteilwunde erfolgten eine Plattenosteosynthese sowie eine Spongiosaplastik, und ein Knochenstimulator wurde implantiert.

c Fünf Monate postoperativ war der Defekt knöchern konsolidiert.

Die Entnahme spongiösen Knochens am Beckenkamm erfolgt über einen chirurgischen Zugang zum Ilium (► Abb. 3.17). Für den vorderen Beckenkamm befindet sich der Patient in Rückenlage, für den hinteren in Bauchlage. Die Inzision erfolgt beim hinteren Beckenkamm entlang des tastbaren Beckenkamms, wobei die Spina iliaca superior posterior als Orientierungsmarke dient. Nach Präparation und Retraktion der Weichteile wird die „weiße Linie“ am Ansatzpunkt der Muskulatur am lateralen Beckenkamm identifiziert, die Abduktorenmuskulatur abgelöst und zur späteren Refixation ein Gewebestreifen belassen. Nach subperiostaler Darstellung der lateralen Iliumfläche wird das Transplantat, z. B. mit einem Rinnenmeißel, von der Außenfläche des Iliums entnommen, wobei Crista iliaca und innere Kortikalis zu erhalten sind. Die Spongiosa zwischen den Kortikales wird mit dem

scharfen Löffel ausgekratzt, anschließend das gesamte Transplantat bis zum Gebrauch in einem feuchten Tupfer aufbewahrt. Nach Auffüllen des Iliumdefekts mit einem Hämostyptikumschwamm und der Reinsertion des M. abductor erfolgen der schichtweise Wundverschluss sowie die Injektion eines Lokalanästhetikums.

Bei Verwendung autogener Spongiosa muss die Entnahmemorbidität im Spenderbereich berücksichtigt werden. Mögliche Komplikationen am Beckenkamm umfassen: Schmerzen, Verletzungen von Nerven- und Gefäßstrukturen (N. femoralis cutaneus lateralis, N. iliohypogastricus, N. ilioinguinalis, Nn. clunii, N. gluteus superior/A. glutea superior), Frakturen, einschließlich Abrißfrakturen der Spina iliaca anterior superior, Infektionen, Hämatome, Herniationen von Abdominalorganen, Gangbildstörungen, Verletzungen des Iliosakralgelenks

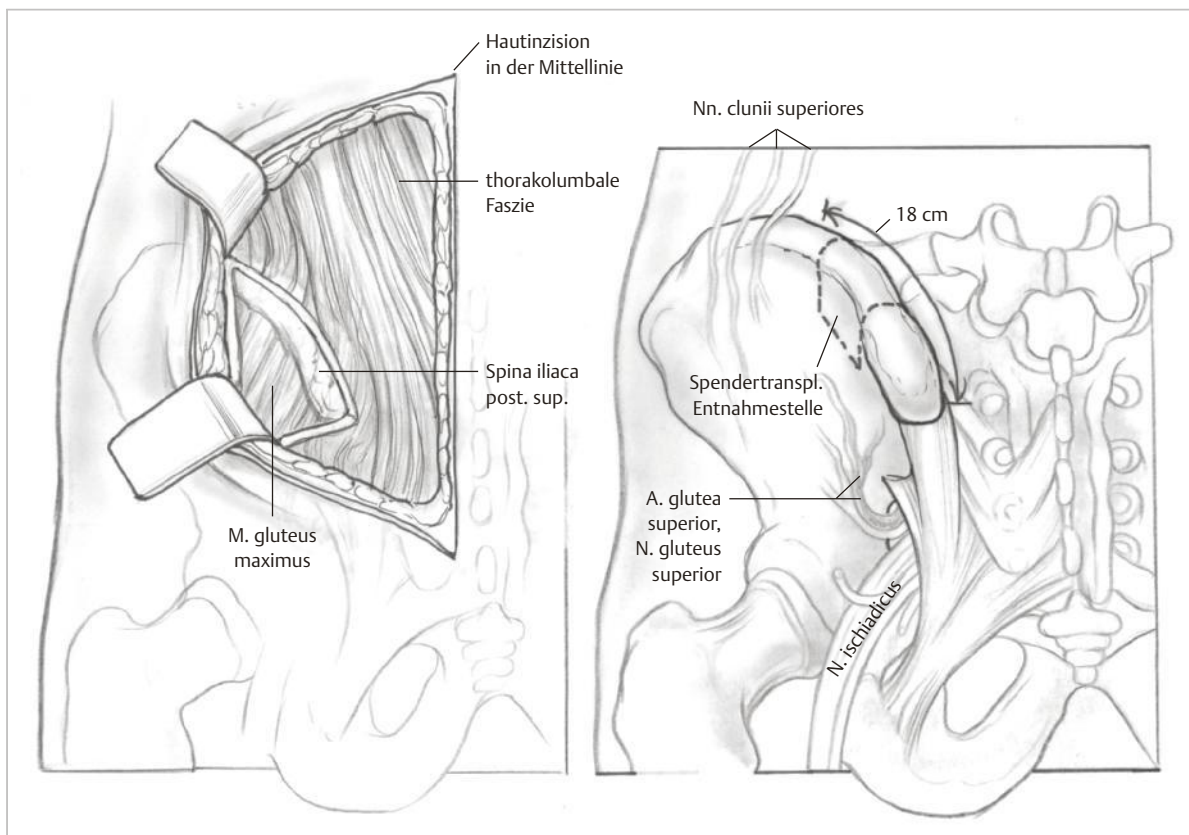


Abb. 3.17 Entnahme autologer Knochentransplantate. Chirurgischer Zugang vom hinteren Beckenkamm.

und Verletzungen des Ureters [64]. Größe und verfügbare Menge der autogenen Spongiosa sind limitiert, weshalb in der Regel eine Begrenzung auf Defekte bis 4 cm empfohlen wird [39], [111]. Bei nicht die gesamte Zirkumferenz betreffenden Defekten kann die Indikation deutlich ausgeweitet werden [140]. Diesbezüglich wurde in einer Studie mit acht Patienten eine erfolgreiche Rekonstruktion der durchschnittlich 10 cm großen Tibiadefekte mittels autogener Spongiosaplastik gezeigt [39].

Neben dem Beckenkamm wurden viele andere Entnahmestellen beschrieben, die sich lediglich in der Menge der gewonnenen Spongiosamenge (hinterer Beckenkamm > vorderer Beckenkamm > distales Femur > proximale Tibia > distale Tibia) unterscheiden. In der neueren Literatur wurden jedoch auch histologische Unterschiede zwischen Beckenkamm- und Tibiaspongiosa gezeigt; die Ergebnisse weisen bezüglich des Gehalts an osteogenen und hämatopoetischen Vorläuferzellen auf eine Überlegenheit der Beckenkammspongiosa hin [38]. In Studien wurden für Defekte subkritischer Größe, zu deren Auffüllung maximal 20 cm³ Spongiosa erforderlich sind, Erfolgsraten von nahezu 100 % berichtet.

Antibiotikaimprägnierte autogene Spongiosa verbessert die Eradikationsrate bei Infektionen; die Transplan-

tateinheilung wird durch die Zugabe des Antibiotikums nicht beeinflusst [36]. Zur Vergrößerung des verfügbaren Volumens kann ein Expander zugefügt werden, der meist durch Osteokonduktion wirkt. Das Ausmaß der Osteoinduktion ist dagegen variabel und schwer einschätzbar. Keramiken wie Kalziumphosphat, Hydroxylapatit, Trikalziumphosphat oder Kalziumsulfat sind häufig verwendete Materialien. Bovine Kollagenkomposite mit Kalziumphosphat (z. B. Collagraft) [46] und demineralisierte Knochenmatrixprodukte besitzen dieselben Wirkmechanismen. Während diese Knochenersatzstoffe bei alleinigem Einsatz die Knochenbildung nicht suffizient zum Auffüllen größerer Defekte stimulieren, können sie in Kombination mit einem autogenen Transplantat eine Rolle spielen. Die genauen Indikationen und die Wirksamkeit sind jedoch in der Literatur bisher nicht eindeutig dokumentiert.

Der Einsatz der Spongiosaplastik erfolgt im Allgemeinen in Fällen mit möglichem Weichteilverschluss, beispielsweise bei posterolateralem Zugang bei Tibiapseudarthrosen. Bei Infektpseudarthrosen ist jedoch gelegentlich eine offene Spongiosaplastik in der Technik nach Papineau erforderlich [8], [134], [188]. Nach radikalem Débridement der Weichteile und des Knochens

erfolgt die Stabilisierung der Extremität mit einem Fixateur externe; der offene Defekt wird mit Verbandswechseln oder einem VAC-System behandelt, bis die Defekthöhle vollständig mit Granulationsgewebe ausgekleidet ist. Danach wird der Defekt mit Spongiosa aufgefüllt und mit feuchten Verbänden abgedeckt, bis das Transplantat vollständig von Granulationsgewebe um- und durchgewachsen ist. Anschließend erfolgt die Deckung durch Spalthauttransplantation. Die durchschnittliche Tragezeit des Fixateur externe beträgt 7,5 Monate. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von mikrovaskulären Techniken und Methoden zum Knochentransport hat die offene Spongiosaplastik zunehmend an Bedeutung verloren, sie ist heute im Zeitalter differenzierter Lappenplastiken kein probates Verfahren mehr [111].

Bei grenzwertig großen Knochendefekten ist das Auffüllen mit autogener Spongiosa vorteilhaft, wenn diese in ausreichender Menge gewonnen werden kann. Mit dem Reamer-Irrigator-Aspirator-System (RIA, Synthes, Paoli, PA) steht eine Operationstechnik zur Verfügung, die die Entnahme einer beachtlichen Menge autologer Spongiosa zum Auffüllen größerer segmentaler Defekte erlaubt. Hierbei wird der Markraum des Femurs oder der Tibia mit einem System aufgebohrt, das das Knochenmark als Aufbohraspirat absaugt und für eine Knochentransplantation zur Verfügung stellt [16], [19], [135], [161], [169], [198]. Bezüglich des möglichen Volumens werden in der Literatur unterschiedliche Mengen (30–90 cm³) berichtet; eine neuere Studie mit einem Vergleich zwischen einer historischen Kontrollgruppe mit Spongiosaentnahme vom vorderen Beckenkamm (40 Patienten) und einer Studiengruppe mit einem RIA-Autotransplantat (41 Patienten) ergab für letztere ein Volumen von 25–75 cm³ (Mittelwert: 40,3 cm³) [16]. Im Vergleich zur Beckenkamm-spongiosa (32/40 Patienten) war die Heilungsrate nach RIA-Transplantat (37/41 Patienten) erhöht, wenn auch nicht statistisch signifikant; die postoperative Schmerzsymptomatik im Entnahmebereich jedoch signifikant geringer. In der RIA-Gruppe traten zwei (Perforation der distalen ventralen Femurkortikalis mit konservativer Therapie; exzessives Aufbohren des Schenkelhalses mit prophylaktischer Lochschrauben-Osteosynthese), in der Kontrollgruppe zwölf Komplikationen (3 Infektionen, 1 Hämatom, 8 Sensibilitätsstörungen) [16] auf. Aufgrund mehrerer Einschränkungen, einschließlich der bei der Mehrzahl der Patienten erfolgten simultanen Gabe von „bone morphogenetic protein-2“ (BMP-2), erlaubt dieser Studie jedoch nur bedingt Schlussfolgerungen über die Wirksamkeit des RIA-Transplantats im Vergleich zur Beckenkamm-spongiosa [16].

Praxis

Tipps und Tricks

Die RIA-Technik sollte unter Durchleuchtungskontrolle erfolgen; aufgrund der Frakturgefahr ist hierbei ein exzentrisches Aufbohren zu vermeiden. Tritt dieses dennoch auf, ist eine prophylaktische Stabilisierung mittels Marknagelung zu diskutieren; dieses Vorgehen sollte mit dem Patienten präoperativ besprochen werden.

McCall und Mitarbeiter [163] untersuchten die Ergebnisse der RIA-Autotransplantation bei der Behandlung von 20 Patienten mit Knochendefekten zwischen 2 und 14,5 cm (Mittelwert: 6,6 cm). Bei 18 Patienten war initial eine Behandlung mit einem antibiotikahaltigen Zement-Spacer im Sinne der Masquelet-Technik (S.107) erfolgt. Das durch die RIA durchschnittlich gewonnene Transplantatvolumen betrug 64 cm³. Zusammenfassend kam es bei 17 Patienten zu einer knöchernen Konsolidierung, sieben davon nach erforderlichen Revisionseingriffen; durch die Entnahmetechnik traten keine signifikanten Komplikationen auf [163].

In mehreren Studien wurden iatrogene Frakturen nach Anwendung der RIA-Technik berichtet; diese waren in der Mehrzahl der Fälle technisch durch ein exzessives exzentrisches Aufbohren verursacht. Angesichts dieser möglichen Komplikation sollte eine exzentrische Positionierung des Bohrdorns vermieden werden und das Aufbohren schrittweise erfolgen.

Das biologische Potenzial des RIA-Autotransplantats und ihr im Vergleich zur Beckenkamm-spongiosa höherer Anteil osteoinduktiver Wachstumsfaktoren und osteogener/endothelialer Vorläuferzelllinien sind in zahlreichen Grundlagenstudien belegt [117], [221], [262]. Trotz vielversprechender Frühergebnisse stehen jedoch auf vergleichenden Studien beruhende evidenzbasierte Daten bisher noch aus.

Allogene Transplantate

Gefrorene oder gefriergetrocknete allogene Knochentransplantate können zur Rekonstruktion großer Knochendefekte eingesetzt werden [265]. Der Einbau erfolgt analog der autogenen Transplantate, jedoch deutlich langsamer, und bei großen kortikalen Allografts bleibt ein vollständiger Ersatz häufig aus. Da die Knochenzellen den Aufbereitungsprozess nicht überleben, ist eine direkte Knochenbildung nicht möglich. Des Weiteren ist ihre osteoinduktive Wirkung deutlich geringer als die der autogenen Knochentransplantate [15], [222].

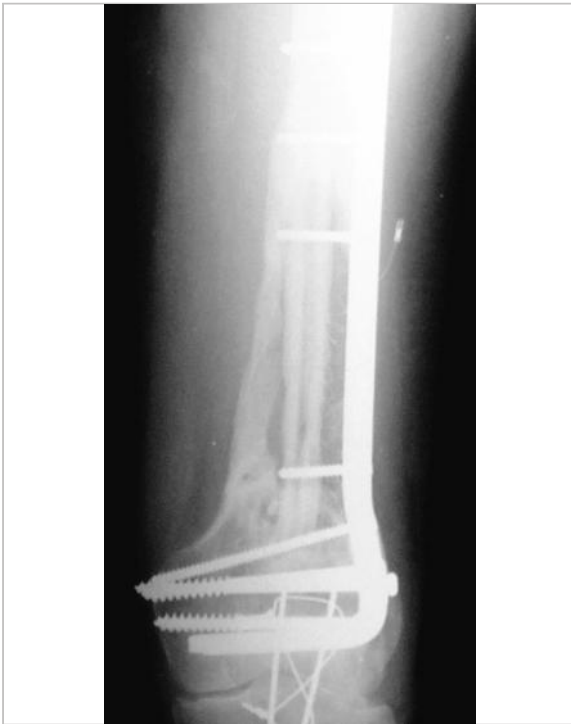


Abb. 3.18 Allogene Knochentransplantation. Ein großer femoraler Defekt nach offener Femurfraktur wurde initial mittels Wundversorgung und Fixateur externe behandelt. Die letztendliche Rekonstruktion erfolgte mit einer Winkelplatte und einem abstützenden Fibula-Allograft. Die dargestellte a.-p. Aufnahme zeigt den Befund nach Wiederaufnahme der Vollbelastung und Rückkehr in den Beruf als Lieferant 8 Monate postoperativ.

Allogene Knochentransplantate können spongiös oder strukturell eingesetzt werden [265]: Kortikospongiöse Späne werden zur Auffüllung und Abstützung umschriebener metaphysärer Defekte eingesetzt, Kortikalisblöcke oder -streifen dagegen als strukturelle Elemente. Zur Einheilung ist häufig eine zusätzliche autogene Spongiosaplastik erforderlich, sowie nahezu immer eine Abstützung durch innere Fixation (► Abb. 3.18).

In einer Langzeitstudie zeigten Allografts nach Tumorsektion eine Erfolgsrate von 84 %. Bei 15 Patienten versagte das Transplantat, in der Hälfte dieser Fälle führte die Revision mit erneuter Transplantation zur Ausheilung. 31 Patienten zeigten keine Frakturheilung und erforderten zum Erreichen einer Konsolidierung 81 zusätzliche Maßnahmen [183].

Allografts sind bezüglich der Menge und Größe nicht limitiert; ein weiterer Vorteil ist die Verwendung vollständiger Gelenke. Trotz potenziell geringerer Morbidität sind neben hohen Kosten zahlreiche Nachteile, wie unvollständiger Einbau, Heilungsstörungen, verminderte mechanische Stabilität, erhöhte Prävalenz von Mikrofrakturen [222] bzw. das Risiko zur Übertragung von Infektions-

krankheiten, beschrieben. Das Risiko einer Virusübertragung beträgt 1:600 000. Postoperative Infektionen stellen die größte Gefahr beim Einsatz von Allografts dar, bei tumorbedingtem Knochenverlust beträgt das Risiko 5–12 %. Bei Zustand nach Infektverlauf ist dieses Risiko deutlich erhöht, weshalb allogene Transplantate nur selten zur Auffüllung infektbedingter Knochendefekte eingesetzt werden.

Aufgrund der Komplikationen [180] werden allogene Transplantate bei großen Knochendefekten angesichts der Verlässlichkeit der modularen Resektionsendoprothetik sowie der durch 3-D-Printing möglichen individualisierten adaptierten Rekonstruktion [120] heute nur noch in Ausnahmefällen eingesetzt [265]. Bei ausgedehnteren Defekten hat sich der Einsatz eines autogenen Thrombozytenkonzentrats bewährt [111], wobei die in den Thrombozyten enthaltenen Wachstumsfaktoren den Heilungsprozess initiieren sollen. Das thrombozytenreiche Plasma (PRP) wird mit dem GPS-System (Gravitational Platelet Separation System) aus dem Blut des Patienten gewonnen und kann in Kombination mit autogenen Knochentransplantaten bzw. Knochenersatzstoffen angewandt werden.

Vaskularisierte Knochentransplantate

Bei größeren Knochendefekten mit zur Einheilung des Transplantats unzureichender Blutversorgung des umliegenden Gewebes kann der gefäßgestielte Knochentransfer eingesetzt werden. Hierbei unterscheidet man gestielte (Rotieren des Knochentransplantats unter Kontinuitäts-erhaltung der Blutgefäße) und freie vaskularisierte Transplantate (nach Durchtrennung der Gefäße Kontinuitäts-wiederherstellung an neuer Lokalisation mittels mikrovaskulärer Technik). Sie bieten ein strukturelles Stützgerüst sowie eine rasche Einheilung und sind unabhängig von der Vaskularität des Transplantatbetts. Die Belastbarkeit wird im Verlauf durch Hypertrophie erhöht.

Der Transfer erfolgt am häufigsten in Form einer Fibulatransplantation, alternativ kann ein Beckenkamm- (mit A. iliaca circumflexa) oder ein Rippentransfer (posteriore Interkostalgefäße) eingesetzt werden. Bei Composite Flaps wird gleichzeitig Haut und/oder Muskel transplantiert. Aufgrund der hohen Morbidität im Hebebereich wird der Rippentransfer nur selten verwendet. Der vaskularisierte Beckenkamm ist auf ein gerades Segment von 5–6 cm limitiert, heilt langsam ein und erfordert in bis zu 50 % der Fälle die Durchführung einer zusätzlichen Spongiosaplastik. Des Weiteren ist er mit einer hohen Morbiditätsrate, einschließlich einer möglichen Herniation von Abdominalorganen, assoziiert.

Der freie mikrovaskuläre autologe Fibulatransfer ist das eigentliche Arbeitspferd bei der Rekonstruktion ausgedehnter segmentaler diaphysärer Defekte; er ist nicht-vaskularisierten Grafts überlegen [144]. Die Fibula besitzt eine Länge von bis zu 20 cm, und bei korrekter Technik und Handhabung überleben bis zu 90 % der Transplantat-



Abb. 3.19 Freier mikrovaskulärer autologer Fibulatransfer.

- a** Große Defektzone des Humerus nach Schussverletzung, die neurologische Funktion der Hand war intakt.
- b** 72 Monate nach Rekonstruktion des Defekts mittels freiem Fibulatransfer und nachfolgender Revision bei proximaler Pseudarthrose ist eine stabile Ausheilung erreicht, und die Hand wird für Aktivitäten des täglichen Lebens eingesetzt.

zellen [171], [269]. Anfänglich zur Wiederherstellung der Integrität tibialer Defekte eingesetzt, hat sich das gefäßgestielte Fibulatransplantat aufgrund seiner Länge und der minimalen Morbidität im Hebebereich im weiteren Verlauf zum am häufigsten eingesetzten freien Knochen- transplantat bei diaphysären Defekten entwickelt. Bei Vorliegen großer Defekte (> 6 cm) wird der Fibulatransfer seitens vieler Autoren als Mittel der Wahl betrachtet, vor allem bei schlechter Vaskularität des Transplantatbetts (► Abb. 3.19). Die Transplantaternalimentation erfolgt über Begleitäste der Peronealgefäße und periostale Gefäße, so dass aufgrund der eigenen Blutversorgung das Transplantat von der Durchblutung des Empfängerbetts relativ unabhängig ist.

Bei größeren Defekten können vaskularisierte Fibulatransplantate auch doppelläufig verwendet werden; hierbei ist das Ausmaß der Defektrekonstruktion durch die Länge des autologen Transplantats limitiert. Bei sehr großen Defekten erfolgt häufig eine Kombination mit einer allogenen Knochentransplantation [265]. Zur Rekonstruktion kombinierter Knochen- und Weichteildefekte kann die freie Fibula gemeinsam mit einem Saum des M. soleus und/oder Hautanteilen (osteoseptokutanes Transplantat) transplantiert werden [142], [269], wobei der Hautlappen die Durchblutungskontrolle des Transplantats erlaubt.

Die Ergebnisse bei Rekonstruktion segmentaler Radiusdefekte wurden von Jupiter et al. publiziert: Acht der neun Patienten zeigten ein erfolgreiches Einheilen [130]. In einer Studie von Heitmann et al. über den Einsatz des Transplantats bei segmentalen Humerusdefekten zeigten sieben der acht Patienten ein frühzeitiges Versagen der Fixation oder eine Fraktur des Transplantats. Durch offene Reposition mit innerer Fixierung und Spongiosaplastik wurde im weiteren Verlauf eine Ausheilung erreicht. Bei

einem Patienten mit Infektverlauf war ein erneuter Fibulatransfer erforderlich [105].

Eventuell auftretende Probleme im Hebebereich sind in der Regel geringfügig. Beschrieben sind: temporäre moderate Störungen des Gangbilds (vor allem beim Treppensteigen), leichte Abnahme der Wadenkraft und der Sprunggelenkeversion, Kontraktur des M. flexor hallucis longus (FHL) sowie Parästhesien im Versorgungsgebiet des N. peroneus [171].

Masquelet-Technik („Induced Membrane Technique“)

Bei großen ossären Defekten ist eine Rekonstruktion mittels spongiösem Graftmaterial erst nach Implantation eines antibiotikahaltigen Zement-Spacers mit Ausbildung einer gut vaskularisierten Pseudomembran möglich. Die ersten klinischen Ergebnisse dieser Technik bei 35 Patienten mit Knochendefekten zwischen 5 und 25 cm wurden von dem französischen Chirurgen Masquelet in englischer Sprache erstmals 2003 veröffentlicht [159].

Die Masquelet-Technik beschreibt ein zweizeitiges Vorgehen in der Behandlung ossärer Defekte langer Röhrenknochen; sie basiert auf der Induktion einer bioaktiven pseudosynovialen Membran, die als Fremdkörperreaktion um einen in einem ersten Schritt eingebrachten Zement-Spacer gebildet wird. In einem zweiten Eingriff wird dieser Spacer entfernt und durch ein spongiöses Autograft aus dem Beckenkamm ersetzt, das in den entstandenen Hohlraum eingebracht wird [158], [160], [215]. Aufgrund ihrer Reproduzierbarkeit wird die Masquelet-Technik zur Rekonstruktion großer Knochendefekte zunehmend häufiger angewandt [215].



Tipps und Tricks

- Ein häufiges Problem dieser Technik besteht darin, dass keine einheitliche Membran induziert wird bzw. keine ausreichend große Membran, die eine sekundäre Knochentransplantation ohne Gefahr von Wundheilungsstörungen erlaubt. Dies tritt vor allem im Zusammenhang mit der Durchführung einer Lappenplastik auf. Das Auftreten solcher Probleme kann minimiert werden, wenn keine Antibiotikaketten, sondern ein solider Zement-Spacer verwendet wird. Im Gegensatz zu Antibiotikaketten wird durch Implantation eines soliden Spacers reproduzierbar eine zirkumferente Membran gebildet; des Weiteren ist durch die Membranbildung um die Antibiotikakugeln eine Entfernung der Ketten ohne eine Schädigung der pseudosynovialen Membran problematisch bzw. nicht möglich.
- Das unvollständige bzw. ausbleibende Einheilen des Knochentransplantats an den originären Knochenenden ist einer der häufigsten Gründe für einen erforderlichen Revisionseingriff. Der Spacer sollte daher die Knochenenden auf beiden Seiten des Defekts um mindestens 1–2 cm überlappen, damit sich die entstehende Membran über den Defekt hinaus ausbilden kann. Da sich ihre bioaktive Wirkung somit auch im Bereich der Übergangsstellen entfalten kann, wird das Einheilen an beiden Defektenden gefördert und das Risiko junktionaler Pseudarthrosen reduziert [105], [148], [194], [215].
- Damit ein ausreichend großer Hohlraum für die Aufnahme der erforderlichen Menge an Graftmaterial entstehen kann, sollte der Durchmesser des Zement-Spacers mindestens dem Durchmesser des zu ersetzenden Knochens entsprechen. Da es nach Entfernung des Spacers zu einer Schrumpfung der Membran und der umgebenden Weichteile kommt, sollte der Durchmesser des Spacers eher größer gewählt werden.
- Erfolgt nach Implantation eines Spacers die Weichteildeckung mit einer Lappenplastik, muss die im Verlauf auftretende Kontraktion des Lappens berücksichtigt werden. Eine Überdimensionierung des Spacers erleichtert dessen Entfernung sowie das dazu erforderliche Heben und der erneute Verschluss des Lappens; des Weiteren entsteht ein zusätzliches Volumen, das nach Entfernung des Spacers mit Graftmaterial aufgefüllt wird.
- Der ideale Zeitpunkt zum Einbringen des Graftmaterials ist noch unklar. Im Falle einer erfolgten Lappenplastik, die zur Knochentransplantation gehoben werden muss, wird mehrheitlich ein Intervall von mindestens sechs Wochen empfohlen, um die Heilung der Gefäßanastomosen und des Lappens nicht zu gefährden [94], [151]. In einer Studie von Cierny und Zorn [41] wurden bei der sekundären Spacerentfernung und Knochentransplantation Biopsien aus unterschiedlich alten Membranen entnommen und histologisch bezüglich der Expression von Kollagen und Wachstumsfaktoren untersucht; des Weiteren erfolgte eine Ko-Kultivierung mit mesenchymalen Stromazellen, um die Fähigkeit zur Induktion osteoblastischer Zelllinien zu bestimmen. Aus den Ergebnissen wurde eine osteoinduktive Potenz der induzierten Membran abgeleitet und aufgrund der im Verlauf abnehmenden Effizienz eine Grafttransplantation innerhalb eines Monats nach Implantation des Spacers empfohlen [41]. Die biologische Aktivität der Membran und die nach vier Wochen maximale Vaskularisierung und Sekretion von Differenzierungsfaktoren wurde zwischenzeitlich in zahlreichen Studien [2], [95], [106], [195], [250] nachgewiesen; daher wird der Zweiteingriff in Abhängigkeit vom Zustand der Weichteile heute überwiegend nach 4–6 Wochen empfohlen [215].
- Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Wahl des am besten geeigneten Graftmaterials. Klassischerweise wird autologe Spongiosa verwendet, die üblicherweise aus dem Beckenkamm entnommen wird. Die jeweilige Entnahmestelle wird hierbei durch die Größe des zu rekonstruierenden Knochendefekts bestimmt. Aufgrund der Entnahmemorbidität und der nur begrenzten Verfügbarkeit bei Beckenkammspongiosa [29], [59] wird in zunehmenden Maße auch die RIA-Technik eingesetzt, die aufgrund des höheren Graftvolumens die Rekonstruktion größerer Defekte ermöglicht [221], [233]. Neben der Beimengung von allogenem Material als Graftexpander wird auch der Einsatz von Strut-Grafts und Composite Grafts diskutiert [215].

In der Literatur wurden eindrucksvolle Ergebnisse bei Verwendung der Masquelet-Technik (► Abb. 3.20) publiziert [194], [215]. Nach radikalem Débridement des Knochens und der Weichteile wird ein antibiotikahaltiger Zement-Spacer in die zwischen den Knochenenden entstandene Defektzone eingesetzt und die Wunde primär bzw. mittels plastischer Weichteildeckung verschlossen. Nach Abschluss der Wundheilung wird der Spacer in einem zweiten Eingriff nach 4–6 Wochen unter Erhalt und Schonung der als Fremdkörperreaktion induzierten Membran

vorsichtig entfernt und der entstehende Hohlraum klassischerweise mit spongiösem Autograft aufgefüllt. Entsprechend vorliegender Studienergebnisse werden dem Zement-Spacer erregerspezifische Antibiotikazusätze beigemischt, um eine lokale Infektkontrolle bzw. -freiheit zu erzielen. Während in der Originalbeschreibung von Masquelet die Stabilisierung des Knochens mit einem Fixateur externe beschrieben wird, erfolgt diese in der Mehrzahl der Kliniken mittels Plattenosteosynthese bzw. intramedullärer Nagelung [215].

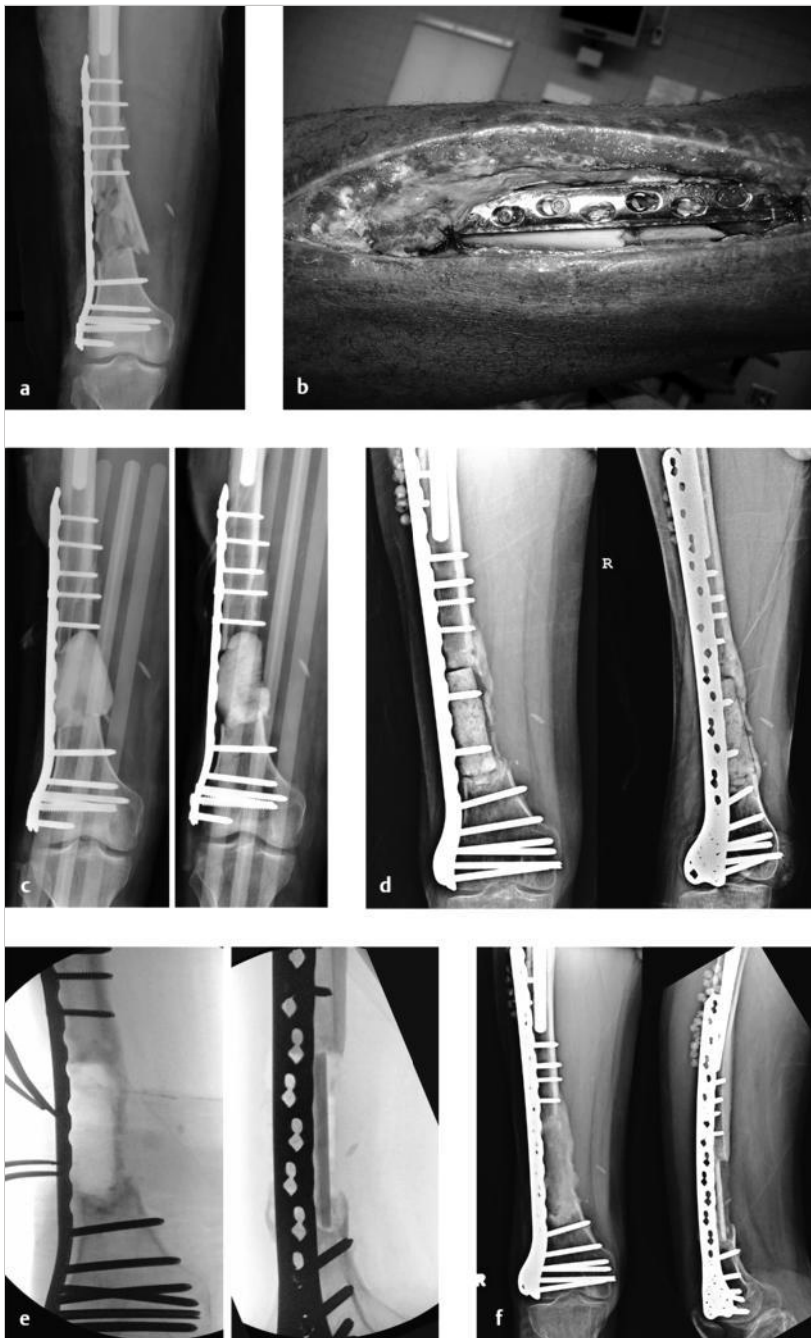


Abb. 3.20 Masquelet-Technik.

- a** Röntgenaufnahme bei Infektion nach offener Femurfraktur.
- b** Klinisches Bild mit Weichteilnekrosen und sklerotisierten avaskulären Knochenfragmenten.
- c** Es wurden mehrere operative Débridements durchgeführt; hierbei wurde jeweils ein neuer antibiotikumhaltiger Zement-Spacer (links: erster Spacer; rechts: zweiter Spacer) eingesetzt und eine Vakuumversiegelung der Weichteile durchgeführt.
- d** Bild nach Wechsel der Platte und dritter Implantation eines Spacers: Mit zunehmender Ausbildung der induzierten Membran lässt sich entlang des Spacers neugebildeter Knochen nachweisen.
- e** Nach Entfernung des Spacers verbleibt eine zirkumferente Pseudomembran mit neugebildetem Knochen, die den entstehenden großen Hohlraum umhüllt (links), der mit einem RIA-Autograft (RIA = Reamer-Irrigator-Aspirator; Fa. Synthes) und einem Strut-Allograft aufgefüllt wird (rechts).
- f** Aufnahmen sechs Monate nach Graftimplantation mit exzellentem Einheilen des Allografts und RIA-Autografts.

Bei der Rekonstruktion großer segmentaler Defekte werden mit dieser zweizeitigen Technik, im Vergleich zur früheren Knochentransplantation, schnellere und verbesserte Konsolidierungsraten erreicht. Wie oben beschrieben, werden als Alternative zur Beckenkamm-spongiosa auch Composite Grafts, z.B. demineralisierte Knochenmatrix („demineralized bone matrix“, DPM) mit Zusatz von BMP („bone morphogenetic protein“), vaskularisierte autologe Fibulatransplantate oder durch RIA-Technik gewonnene Spongiosa als Graftmaterial eingesetzt. Die in-

duzierte Membran wirkt aufgrund ihrer starken Vaskularisierung, der Freisetzung verschiedener osteoinduktiver und angiogenetischer Faktoren wie VEGF (vascular endothelial growth factor), TGF- β 1 (transforming growth factor- β 1) oder BMP-2 (bone morphogenetic protein-2) [2], [94], [95], [106], [194], [195], [250], [251] sowie der Präsenz osteogener und osteoklastischer Zellen in der Membran [95], [250] als Bioreaktor und fördert die Knochenneubildung mit Remodelling des Defekts [215].

Osteobiologika und synthetischer Knochenersatz

Der Einsatz orthobiologischer Faktoren [210] wie BMP, TGF- β , VEGF oder PDGF (platelet derived growth factor), stellt einen vielversprechenden alternativen Ansatz zur Rekonstruktion großer segmentaler Defekte dar, bei dem die knöcherne Konsolidierungszeit durch den Zusatz von Wachstumsfaktoren reduziert werden kann. Biologisch optimierte Verbundkonstrukte (composite grafts) werden zur Augmentation bei limitiertem Autograft-Volumen bzw. bei vollständigem Verzicht auf ein Autograft eingesetzt; in der Behandlung von Defekten (sub)kritischer Größe (1–4 cm) lassen sich hiermit gute Ergebnisse erzielen.

Konzentriertes Knochenmarksaspirat (bone marrow aspirate concentrate, BMAC) [148], das in der Regel vom Beckenkamm entnommen wird, enthält vitale Osteoprogenitorzellen, die bei der Osteogenese eine tragende Rolle spielen [114], [115]. Das Aspirat wird üblicherweise mit geeigneten Trägersubstanzen (composites) wie DBM (demineralized bone matrix), Kollagenschwämmen, keramischen Materialien oder Titankäfigen kombiniert, die als osteokonduktive Füllmaterialien und Leitstrukturen dienen [9], [114], [148], [149].

Demineralisierte Knochenmatrix (demineralized bone matrix, DBM) wird durch Säurebehandlung aus der mineralisierten extrazellulären Matrix humaner Knochen spenden hergestellt. Hierbei bleiben die nichtkollagenen Proteine, einschließlich der osteoinduktiven Proteine wie der BMP intakt und aktiv. DBM besitzt aufgrund seiner Gerüststruktur eine starke osteokonduktive Wirkung und bietet mit ihrer großen Oberfläche und dreidimensionalen Architektur zahlreiche Ansatzstellen für einwandernde Zellen.

Durch die Kombination von DBM und BMAC lassen sich in der Behandlung von Pseudarthrosendefekten subkritischer Größe Ergebnisse erzielen, die mit denen einer autologen Spongiosaplastik vergleichbar sind. In einer Studie von Tiedeman und Mitarbeitern [241], in der DBM und BMAC als Composite Graft zur Behandlung ossärer Defekte bei 39 Patienten eingesetzt wurden, ließ sich in 77 % der Fälle (30/39 Patienten) eine knöcherne Konsolidierung erreichen, obwohl die Subgruppe der Patienten mit Pseudarthrose weniger eindrucksvolle Ergebnisse (61 % Erfolgsrate) zeigte [241].

Mit einem Verbundkonstrukt aus BMAC und einem als Gerüstträger (Scaffold) dienenden Kollagenschwamm bzw. porösen Hydroxylapatit-Granula wurden in einer prospektiven klinischen Studie vielversprechende Ergebnisse erzielt [127]. Hierbei wurden 39 Knochendefekte unterschiedlicher Größe (0,54–151,2 cm³) mit einem Composite Graft aus BMAC/Scaffold und autologer Beckenkamm-spongiosa behandelt; 36 der 39 Defekte (92 %) kamen zur Ausheilung, relevante Komplikationen traten nicht ein. Obwohl diese Ergebnisse durch die Kombination des Composite Grafts mit autologer Beckenkamm-

spongiosa nur eingeschränkt beurteilt werden kann, wurde in Grundlagenstudien die Wirksamkeit BMAC-beladener synthetischer Knochenersatzmaterialien (CaPO₄), einer Vielfalt verschiedener Kalzium-basierter konduktiver Füll- und Trägersubstraten, gezeigt [97].

Hernigou und Mitarbeiter [114], [115] konnten mit allein oder in Kombination mit DBM appliziertem konzentriertem Knochenmarksaspirat exzellente Ausheilungsraten bei bis zu 2–3 cm großen Pseudarthrosendefekten zeigen. Die Applikation nichtkonzentrierter Aspirate zeigt dagegen in unkontrollierten Fallstudien unterschiedliche Ergebnisse [44], [45], [259]; der entscheidende Faktor ist die ausreichende Konzentration an knochenbildenden Zellen [114], [115]. Durch stetigen Verbesserungen in der Gewinnung und Anreicherung autologen Zellmaterials ist die Applikation von konzentriertem Knochenmark ein vielversprechender Ansatz.

Ein multifaktorieller Ansatz zur Rekonstruktion großer segmentaler Defekte ist die Kombination aus Titankäfigen und verschiedenen Gemischen aus autogenen und allogenen Knochentransplantaten sowie DBM [10]. Dieses Vorgehen erfordert ein gut durchblutetes und vitales Transplantatbett ohne Nachweis einer Infektion; bis zur Konsolidierung der Weichteile erfolgt eine Stabilisierung mittels Fixateur externe. In einem zweiten Schritt erfolgt die Rekonstruktion des Defekts durch Einbringen eines Titan-Cages, der mit einer Kombination verschiedener Graftmaterialien, wie z. B. Auto- bzw. Allograft, DBM, aufgefüllt wird. Die bis zur knöchernen Konsolidierung erforderliche mechanische Stabilisierung dieses Verbundkonstrukts erfolgt durch Standardtechniken, meist mittels intramedullärem Nagel, alternativ mittels Plattenosteosynthese bzw. Fixateur externe. In mehreren Studien wurden diesbezüglich exzellente Konsolidierungsraten und funktionelle Ergebnisse in der Behandlung von bis zu 15 cm großen segmentalen Defekten langer Röhrenknochen berichtet.

Mit dem Ziel, einen zweiten operativen Eingriff mit sekundärer Grafttransplantation zu vermeiden, wurden bei der Rekonstruktion segmentaler Defekte auch osteoinduktive Proteine mit vielversprechendem Erfolg eingesetzt. In einer prospektiven randomisierten kontrollierten Studie an 30 Patienten mit akuten segmentalen Knochendefekten der Tibiadiaphyse (Größe: 1–7 cm; Mittelwert 4 cm) verglichen Jones und Mitarbeiter [129] die Behandlungsergebnisse nach Implantation BMP-2-impregnierter Allografts mit denen nach autologer Spongiosaplastik. Nach zwölf Monaten zeigten 80 % (12/15 Patienten) der Autograft-Gruppe und 87 % (13/14 Patienten) der Allograft/rekombiniertes humanes BMP-2-(rhBMP-2-)Gruppe eine Ausheilung der Defekte ($p=0,2$). Bezüglich der Komplikationsraten oder der funktionellen Ergebnisse waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachweisbar. Zusammenfassend kann rhBMP-2/Allograft damit als sicheres und der klassischen Spongiosaplastik gleichwertiges Verfahren zur Behandlung von Tibiaschaftdefektfrakturen angesehen werden [129].

Distraktionsosteogenese

Die Distraktionsosteogenese wurde in der Sowjetunion in den späten 1940er oder frühen 1950er Jahren von Ilizarov entdeckt. Er konnte einen vollkommen neuen Aspekt im biologischen Knochenverhalten beschreiben und zeigen, dass ein sehr langsames Auseinanderziehen zweier gut durchbluteter Knochensegmente mittels externer Fixation die Knochenneubildung induziert. Die Technik hat sich seither zu einem Standardverfahren für langstreckige Knochendefekte bzw. Beinverkürzungen entwickelt und trägt heute seinen Namen [13], [34], [87], [96], [103], [124], [126].

Die Distraktionsosteogenese erlaubt eine dynamische Korrektur bestehender Achsen-, Rotations- und Translationsdeformitäten und kann gleichzeitig Beinlängendifferenzen oder Knochendefekte im Verlauf der Behandlung ausgleichen [33], [239]. Werden Torsions- und Scherkräfte durch einen Ringfixateur ausgeschaltet, führen Zugkräfte zu einer Knochenneubildung und Heilung im Frakturbereich. Zur Förderung der metaplastischen Umwandlung des fibroartilaginären Gewebes im Frakturbereich ist ein stabiles Mikromilieu entscheidend und Voraussetzung für die präferenzielle Differenzierung lokaler pluripotenter mesenchymaler Zellen entlang der Osteoblasten-/Osteozytenlinie. Dieser Prozess geht mit lokaler Gefäßneubildung und erhöhter biosynthetischer Aktivität einher und führt zu einer intramembranösen Knochenbildung im Segmentspalt [56].

Im ersten Schritt erfolgt die Anlage eines Fixateur externe. Der klassische Ilizarov-Fixateur verwendet gespannte Transfixierungsdrähte und über Gewindestangen verbundene Ringe (► Abb. 3.12), für viele Anwendungen können jedoch auch unilaterale Fixateure in ähnlicher Technik eingesetzt werden. Die Kortikotomie erfolgt perkutan, üblicherweise im Bereich der Metaphyse, unter Schonung der intramedullären und periostalen Gefäßversorgung mit einem Meißel (z. B. Fähnchenmeißel), alternativ mit einer Gigli-Säge. Nach Durchtrennung von mindestens zwei Dritteln der Knochenzirkumferenz kann die verbliebene Kortikalis osteoklastisch unter Scherbewegung und Schränken durchtrennt werden, anschließend ist die Kortikotomie röntgenologisch zu kontrollieren [87].

Der Transport beginnt nach einer Latenzzeit von 5–14 Tagen. Hierbei werden die durchtrennten Knochenoberflächen 1 mm/d in Einzelschritten von je 0,25 mm alle sechs Stunden langsam auseinandergezogen [103], [140]. Eine zu starke Distraktion (z. B. 1 mm einmal täglich) führt, wie auch jede Instabilität mit Scherbewegung, zur Inhibition der Osteogenese, eine zu geringe Frequenz dagegen zum Schließen des Spaltes durch reguläre Frakturheilung. Das initial entstehende Hämatom wird im Folgenden organisiert, wobei es zur Entstehung einer bipolaren fibrovaskulären Zone mit parallel zur Zugrichtung angeordneten Kollagenfasern kommt. Die Knochenbildung setzt mit einer vom gesamten Querschnitt der durchtrennten Knochenoberflächen ausgehenden intramem-

branösen Ossifikation ein. Der entstehende Knochen ist aus einer sehr gleichförmigen und strukturierten Anordnung von Säulen und Zapfen mit je ca. 200 µm Durchmesser und umgebenden mikrovaskulären Gefäßbahnen aufgebaut. Die Mineralisation erfolgt perivaskulär in der Umgebung der parallel zur Distraktionskraft einsprossenden Gefäße [56].

Bei Vorliegen von Knochendefekten werden zwei Vorgehensweisen beim Einsatz der Distraktionsosteogenese unterschieden. Beim ersten Ansatz erfolgen in der Akutphase die Konturierung der Knochenenden sowie die Verkürzung unter Kompression des Frakturbereichs. Die Kortikotomie an separater, metaphysärer Lokalisation mit nachfolgender Kallusdistraktion wird sekundär durchgeführt. Während eine akute Verkürzung im Bereich der Tibia und des Humerus bis zu einer Defektstrecke von 3–4 cm gefahrlos durchgeführt werden kann [151], [166], [208], wird bei Femurdefekten eine Strecke von 5–7 cm toleriert. Hierbei kann es ggf. vorteilhaft sein, die Transportstrecke und damit die Zeit im Fixateur zu reduzieren. Durch Verkleinerung des Weichteildefekts ermöglicht dieses Verfahren oftmals einen primären Verschluss oder eine Spalthautdeckung des ansonsten lappenpflichtigen Defekts [201].

Eine akute Verkürzung um mehr als 4 cm kann ein Gefäßkinking mit konsekutiver akuter Durchblutungsstörung verursachen [93], [155], [208]. Des Weiteren können bestehende Weichteilwunden bei akuter Kompression erheblich in ihrer Vaskularität gestört werden; hierbei können signifikante Ödeme und zusätzlich Weichteilnekrosen mit der Gefahr einer Infektion auftreten. Obwohl im Bereich des Femurs eine Verkürzung um mehr als 4 cm sicher durchgeführt werden kann, sind hier ähnliche Probleme mit Wundödemen möglich. Eine Rahmenkonstruktion gewährleistet hierbei die Kompression im Frakturbereich bei gleichzeitiger Distraktion im Bereich der Kortikotomie. Beim zweiten, als Knochen- oder Segmenttransport bezeichneten Verfahren erfolgt initial die Einstellung der korrekten Länge und Ausrichtung der Extremität mit Anlage einer Rahmenkonstruktion und sekundär die Auffüllung der Defektstrecke durch inneren Transport eines oder zweier Segmente. Vorteil ist die funktionelle Nachbehandlung unter frühzeitiger Belastung [103].

Der Segmenttransport zeigt eine hohe Erfolgsrate: In vielen Studien wird in >90% der Fälle eine Ausheilung mit Infektberuhigung erreicht [54], [201], [232]. Einschränkung ist jedoch zu bemerken, dass der Großteil dieser Studien eine nur geringe Fallzahl mit in der Regel weniger als 20 Patienten umfasst und keine Vergleichsgruppen oder Kontrollen einschließt. Vorteile des Verfahrens sind die fehlende Entnahmemorbidität und die Möglichkeit einer funktionellen Behandlung unter Vollbelastung (► Abb. 3.21).

Nachteilig ist allerdings die lange Tragezeit des Fixateur externe, die in manchen Studien bis zu zwei Monate pro Zentimeter überbrückter Defektstrecke betrug. Der Konsolidationsindex errechnet sich als Quotient aus der Zeit-