



W. Zenker

# Die Calcaneusfraktur

Eine Analyse an Knochenmodellen  
aus CT-Daten

Mit einem Geleitwort von D. Havemann

Mit 79 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH



*Priv.-Doz. Dr. med. Wolfgang Zenker*  
Krankenhaus im Friedrichshain  
Abt. für Unfallchirurgie  
Landsberger Allee 49, 10249 Berlin

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Zenker, Wolfgang: Die Clacaneusfraktur: Eine Analyse an Knochenmodellen  
aus CT-Daten / W. Zenker. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1999

ISBN 978-3-7985-1199-6

ISBN 978-3-642-58710-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-58710-8

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999

Ursprünglich erschienen bei Dr. Dietrich Steinkopff-Verlag, Darmstadt, 1999

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Umschlaggestaltung: Erich Kirchner, Heidelberg

Herstellung: Klemens Schwind

Satz: K+V Fotosatz GmbH, Beerfelden

SPIN 10742426

105/7231-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

---

## Geleitwort

Brüche des Fersenbeins bleiben trotz der in der Unfallchirurgie des Bewegungs- und Stützsystems erzielten Fortschritte in der Behandlung des Weichteil-, Knochen- und Knorpelschadens Verletzungen, deren Versorgung von indikatorischen Unsicherheiten geprägt ist.

Ursache der nicht selten unklaren Indikation sind zum einen vor allem die zwar morphologisch gelungenen, aber funktionell dennoch nur teilweise befriedigenden Ergebnisse der rekonstruktiven überwiegend operativen Behandlung. Betroffen ist zudem ein Knochen, der funktionell die Mobilität des Individuums ermöglicht und damit zu einem essentiellen Bestandteil akzeptierter Lebensqualität nach einem Unfall mit Fersenbeinbruch wird. Zum anderen sind bis in die jüngste Zeit pathomechanische Faktoren der Bruchentstehung und der durch das Trauma induzierten Funktionsstörung des Fußes nicht geklärt. Wesentlich zu den indikatorischen Unsicherheiten trägt schließlich die nur mit Schwierigkeiten überschaubare Formenvielfalt der Brüche am Calcaneus bei.

Wiederholt ist versucht worden, die Formvarianten der Fraktur durch Einordnung in ein Klassifikationsschema zu erfassen und ausgehend hiervon richtunggebende Hinweise auf das einzuleitende Behandlungsverfahren zu finden. Mit den Fortschritten in der Diagnostik durch bildgebende Verfahren mit Visualisation bzw. multiplanarer Rekonstruktion erst wurde es möglich, differenzierte, präzise lokalisierbare Befunde am Knochen und im Weichteilmantel zu dokumentieren. Mit dem Nachweis regelhaft auftretender Verletzungsbilder und der obligaten Analyse funktioneller Parameter gelingt es, prognostisch gesicherte Aussagen zur Verletzungsschwere zu machen.

Das vorliegende Buch zeichnet den Weg nach, der unter Verwendung der multiplanaren Rekonstruktion von CT-Daten zu einer differenzierten Klassifikation des Knochentraumas und der damit verbundenen Weichteilläsion und zu richtungsgebenden Hinweisen für das Therapiemanagement führte. Der Leser wird den originellen Analyseweg mit der Verwendung eines dreidimensionalen Knochenmodells nachgehen können und den als Ergebnis erarbeiteten Deformationsscore als sehr nützlichen

Erkenntnisgewinn und praktische Hilfe bei der Behandlung von Fersenbeinbrüchen benutzen können.

Das Buch ist für an der Fußchirurgie Interessierte eine Quelle des Wissens und ergänzt ausgezeichnet und noch im richtigen Moment die in den letzten Jahren erschienenen Publikationen zu diesem Thema. Die gelungene Art der Darstellung erleichtert sehr die visuelle Apperzeption und stärkt das oft stark strapazierte räumliche Vorstellungsvermögen des praktisch tätigen Unfallchirurgen, der den nicht als „Allerweltsfraktur“ auftretenden Bruch des Fersenbeines optimal versorgen soll.

Kiel, im August 1999

*Dieter Havemann*

---

## Vorwort

Lange Zeit schien die Behandlung der Fersenbeinfraktur abgekoppelt zu sein von den Fortschritten in der operativen Frakturbehandlung. Mit der Einführung der Computertomographie konnte dieser Skelettabschnitt erstmals vollständig überlagerungsfrei abgebildet werden. Die seriellen Schnittbilder waren allerdings schwierig zu interpretieren.

An der Kieler Universität bildete sich eine Arbeitsgruppe aus Informatikern, Radiologen und Unfallchirurgen, die eigene Wege der multiplanaren Rekonstruktion vor dem Hintergrund definierter klinischer Anwendungen suchten. Das Ergebnis waren sehr präzise Knochenmodelle, an denen zunächst komplexe Operationen an Becken und deform verheilten Frakturen präoperativ simuliert wurden. Mit zunehmender Routine und Optimierung des Verfahrens konnten dann auch interne Osteosynthesen bei Calcaneusfrakturen am Modell vorgeplant werden. Die Erfahrungen mit den „begreifbaren Raummodellen“ eröffneten die Möglichkeit, die bislang anhand konventioneller Röntgendiagnostik und serieller CT-Untersuchungen differenzierten Frakturformen neu zu charakterisieren, besser zu verstehen und Fehlinterpretationen aufzuklären. An diesen naturgetreuen Modellen wurde der Schweregrad der Verletzung für jede Gelenkfläche bestimmt. Das Ausmaß der talocalcarearen Verrenkungsstellung wurde über die Fläche der dislozierten Gelenkareale bestimmt. An definierten Meßpunkten wurden an jedem Modell insgesamt 10 Meßstrecken bestimmt und daraus Deformations- und Dislokationsindizes bestimmt. Über diese Deformationsquotienten konnten typische Eigenschaften der tongue-type-, der joint-depression-type- und der comminution-type-fracture festgelegt werden. Die Analyse des Bruchverlaufes mit Definition von Hauptfrakturebenen konnte die kontroverse Diskussion über die Verlaufsrichtung der sogenannten Primärfraktur aufklären. Es resultierte eine neue Klassifikation mit frakturformabhängiger Behandlungsempfehlung.

Dieses Buch soll einen Beitrag leisten, die komplexe Verletzung des Fersenbeines besser zu verstehen und dazu anregen, individuell angepaßte Behandlungsstrategien anzubieten.

Ich danke allen Kooperationspartnern aus der Arbeitsgruppe „Knochenmodellbau“ und besonders den Mitarbeitern der radiologischen Universitätsklinik Kiel.

Berlin, August 1999

*Wolfgang Zenker*

---

## Danksagung

Herrn Professor Dr. med. D. Havemann danke ich für seine Förderung und Unterstützung, besonders aber für die anregenden Diskussionen und seinen ständigen Rat.

Herr Professor Dr. med. B. Tillmann hat mit seinem fachkundigen Verständnis für chirurgische Problemstellungen zahlreiche Anregungen gegeben.

Großer Dank gebührt Herrn Professor Dr. med. H. Gremmel, der sich für die Gerätebeschaffung und die Gewährung einer Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft eingesetzt hat.

Die freundschaftliche Zusammenarbeit mit Herrn Priv.-Doz. Dr. med. F. Brix und Herrn Professor Dr. med. dent. Dr. med. Th. Lambrecht in der Entwicklungsphase des interdisziplinären Projekts „Knochenmodellbau“ war unverzichtbare Voraussetzung und eine große Freude.

Frau Bielstein hat bei der Modellherstellung, Frau Klotz bei der Fotodokumentation mitgearbeitet, Herr Dipl.-Physiker Hebbinghaus bei Apparateproblemen geholfen.

Allen danke ich für Ihre freundliche Mitarbeit und Ihr großes Engagement.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>1.1</b>	<b>Behandlung der Fersenbeinfraktur: Historische Entwicklung und heutiger Stand</b> .....	1
1.1.1	Frühfunktionelle Behandlung .....	1
1.1.2	Geschlossene Reposition und transcutane Fixation .....	2
1.1.3	Offene Reposition und interne Stabilisation .....	3
1.1.4	Fixateur externe .....	3
1.1.5	Arthrodesen .....	4
<b>1.2</b>	<b>Form, Funktion und Topographie des Rückfußes</b> ...	4
1.2.1	Anatomie und Struktur des Fersenbeines .....	4
1.2.2	Aufbau und Funktion des unteren Sprunggelenkes .....	5
<b>1.3</b>	<b>Frakturform und Klassifikationen</b> .....	6
<b>1.4</b>	<b>Frakturdiagnostik</b> .....	8
1.4.1	Konventionelle Röntgendiagnostik und ihre Morphologie .....	8
1.4.2	Computertomographie .....	8
1.4.3	Alternative diagnostische Verfahren .....	9
<b>1.5</b>	<b>Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktionen aus computertomographischen Schichtbildern</b> .....	10
1.5.1	Visualisationen .....	10
1.5.2	Raummodelle .....	11
<b>2</b>	<b>Fragestellung</b> .....	12
<b>3</b>	<b>Material und Methode</b> .....	14
<b>3.1</b>	<b>Patientencharakterisierung</b> .....	14
3.1.1	Unfallursache und Zusatzverletzungen .....	16
3.1.2	Behandlung .....	16
<b>3.2</b>	<b>Kontrollgruppe</b> .....	17
<b>3.3</b>	<b>Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Knochenmodellen</b> .....	17
3.3.1	Erhebung der Computertomographie-Daten .....	17

3.3.2	Weiterverarbeitung der Computertomographie-Daten .....	17
	Konturdetektion .....	18
	Errechnung von Zwischenschichten .....	20
3.3.3	Knochenmodellherstellung .....	21
<b>3.4</b>	<b>Grenzen und Kriterien der Modellanalyse .....</b>	<b>22</b>
3.4.1	Gradation der Gelenkflächenverletzung .....	23
3.4.2	Gradation der Luxation .....	24
3.4.3	Gradation der Deformation .....	24
3.4.4	Frakturverlauf und typische Lagebeziehung ....	25
3.4.5	Frakturklassifikation .....	26
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Gelenkflächenläsionen und ihre Verletzungsmuster .</b>	<b>28</b>
4.1.1	Facies articularis posterior .....	30
4.1.2	Facies articularis media .....	32
4.1.3	Facies articularis anterior .....	33
4.1.4	Facies articularis cuboidea .....	33
<b>4.2</b>	<b>Häufigkeit und Schweregrad der subtalaren Luxation</b>	<b>35</b>
<b>4.3</b>	<b>Gradation der Deformation .....</b>	<b>39</b>
4.3.1	Formkoeffizienten der Kontrollgruppe .....	39
4.3.2	Deformationsgradation durch Höhen-Breiten-Indices .....	40
4.3.3	Breitendeformationsindices .....	48
4.3.4	Längenindices .....	50
<b>4.4</b>	<b>Frakturverlauf und Lagebeziehung .....</b>	<b>53</b>
4.4.1	Fraktur bei unverletzter hinterer Gelenkfläche ..	53
	Fraktur mit Verletzung der cuboidalen Gelenkfläche .....	53
	Fraktur mit Verletzung der medialen Gelenkfläche .....	56
	Fraktur ohne Gelenkflächenverletzung .....	58
4.4.2	Einfache Fraktur an der hinteren Gelenkfläche .	60
	Fraktur im lateralen Drittel der hinteren Gelenkfläche .....	61
	Fraktur im medialen Drittel der hinteren Gelenkfläche .....	64
	Fraktur im intermediären Drittel der hinteren Gelenkfläche .....	66
4.4.3	Fraktur mit komplexer Verletzung der hinteren Gelenkfläche .....	68
	Einfache Fraktur mit kleiner Trümmerzone ....	69
	Stückfrakturen .....	71

4.4.4	Trümmerfraktur der hinteren Gelenkfläche . . . .	73
<b>4.5</b>	<b>Klassifikation</b> . . . . .	74
4.5.1	Fraktureinteilungsschema nach Ergebnissen der Modellanalyse . . . . .	75
4.5.2	Schweregradbestimmung der Modellklassifikation durch einen Score . . . . .	77
4.5.3	Gegenüberstellung: Modell-Klassifikation / Rö-Klassifikation . . . . .	79
4.5.4	Gegenüberstellung: Modell-Klassifikation / CT-Klassifikation . . . . .	83
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> . . . . .	85
<b>5.1</b>	<b>Häufigkeit und Muster der Gelenkflächenläsion</b> . . . .	85
5.1.1	Posteriore Facette . . . . .	85
5.1.2	Mediale, anteriore und cuboidale Gelenkfacette .	86
5.1.3	Verletzungsmuster . . . . .	87
<b>5.2</b>	<b>Bedeutung der talo-calcanearen Luxation</b> . . . . .	88
<b>5.3</b>	<b>Wertigkeit der einzelnen Meßstreckenindices zur Bestimmung der Deformation</b> . . . . .	89
5.3.1	Quantifizierung der Deformation durch einen Score . . . . .	89
5.3.2	Breitendeformationsindex . . . . .	90
5.3.3	Verkürzungsindex . . . . .	91
<b>5.4</b>	<b>Frakturtopographie: Widerstreit röntgenmorphologischer Phänomene</b> . . .	91
5.4.1	Wie verläuft die Primärfraktur wirklich? . . . . .	92
5.4.2	Sekundäre Frakturen . . . . .	93
5.4.3	„Joint-depression-type“ versus „tongue-type“ Röntgenphänomene oder unterschiedliche Verletzungsmuster? . . . . .	94
5.4.4	Mischformen . . . . .	96
<b>5.5</b>	<b>Klassifikation: Anforderungen an ein Fraktureinteilungsschema</b> . . .	97
5.5.1	Bewertung röntgenbildorientierter Klassifikationen . . . . .	97
5.5.2	Spezifität der Modellklassifikation . . . . .	99
5.5.3	Therapeutische Relevanz der Modellklassifikation . . . . .	100
5.5.4	Eignung eingeführter Klassifikationen zur Übernahme relevanter Verletzungskriterien der CT-Untersuchung . . . . .	101

<b>5.6</b>	<b>Bedeutung des Knochenmodellbaus für die klinische Routine</b> .....	103
	<b>Zusammenfassung</b> .....	105
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	108

---

## Abkürzungen der Deformationskoeffizienten

- QA = Höhe processus anterior (HA):  
Breite processus anterior (BA)
- QBS = Breite an Sustentaculum (BS):  
Breite an Tuberrückfläche (BT)
- QL = Gesamtlänge (L):  
Breite an Tuberrückfläche (BT)
- QSA = Gesamtlänge (L):  
Abstand Sustentaculumspitze bis mediales  
oberes Processus-anterior-Eck (SA)
- QSZ = Breite an Sustentaculum (BS):  
Breite am Hinterrand der posterioren Gelenkfläche  
(BZ)
- QT = Höhe Tuberrückfläche (HT):  
Breite Tuberrückfläche (BT)
- QTS = Gesamtlänge (L):  
Abstand oberes mediales Tubereck  
bis Sustentaculumspitze (TS)
- QTSA = Abstand oberes mediales Tubereck bis Susten-  
taculumspitze (TS): Abstand Sustentaculumspitze  
bis mediales oberes Processus-anterior-Eck (SA)
- QZ = Höhe am Hinterrand der posterioren Gelenkfläche  
(HZ): Breite am Hinterrand der posterioren Gelenk-  
fläche (BZ)