

Aus dem  
CharitéCentrum 09  
Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie  
Prof. Dr. med. Carsten Perka  
Ärztlicher Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie  
Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle  
Geschäftsführender Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie

**Habilitationsschrift**

**Behandlungskonzepte von  
oberen Sprunggelenksverletzungen**

zur Erlangung der Lehrbefähigung  
für das Fach Orthopädie und Unfallchirurgie

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät  
Charité-Universitätsmedizin Berlin

von  
Dr. med. Henrik Constantin Bäcker  
geboren in Frankfurt / Main

Eingereicht: Januar 2020

Dekan: Herr Prof. Dr. Axel Radlach Pries

1. Gutachter: Frau Prof. Dr. med. Andrea Meurer, Frankfurt am Main

2. Gutachter: Herr Prof. Dr. med. Thomas Mittelmeier, Rostock

# Inhaltsverzeichnis

	Seiten
Abbildungsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	4
1 Einführung .....	6
1.1 Anatomie .....	6
1.2 Verletzungen – Epidemiologie .....	8
1.3 Weichteilverletzungen .....	8
1.4 Frakturen .....	11
1.5 Diagnostik und klinische Untersuchungen .....	14
1.6 Behandlungsmethoden und Behandlungsalgorithmen .....	15
1.7 Postoperative Behandlung .....	21
1.8 Komplikationen .....	23
1.9 Wissenschaftliche Fragestellungen .....	25
2 Originalarbeiten und Ergebnisse .....	26
2.1 Zeitpunkt der Behandlung von Sprunggelenksverletzungen (Arbeit 1) .....	26
2.2 Klinische Ergebnisse bei Luxationsfrakturen (Arbeit 2) .....	37
2.3 Komplikationsrate von medialen Malleolarfrakturen bei unikortikaler Fixation (Arbeit 3) .....	48
2.4 Plattenosteosynthese von Fibulafrakturen und ihre Komplikationsrate (Arbeit 4) .....	54
2.5 Entwicklung der intramedullaren Osteosynthese von Fibulafrakturversorgung, eine gute Alternative zur Plattenosteosynthese (Arbeit 5) .....	61
2.6 Ausmaß von degenerativen Sehnenveränderungen bei Achillessehnenruptur (Arbeit 6) .....	70
2.7 Kraftmessung der Achillessehne nach Ruhigstellung und Verletzung (Arbeit 7) .....	77
3 Diskussion .....	88
3.1 Behandlungskonzepte und Komplikationen .....	88
3.2 Neue Behandlungskonzepte und Entwicklung von Implantaten .....	92
3.3 Postoperative Rehabilitation .....	93
3.4 Limitationen .....	96
4 Zusammenfassung und Ausblick .....	99
Literaturverzeichnis .....	102
Danksagung .....	113
Erklärung .....	114

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Frakturklassifikationen für laterale Malleolarfrakturen

Abbildung 2: Obere Reihe, Weber-Klassifikation; untere Reihe Lauge-Hansen Klassifikation

Abbildung 3: Darstellung der Herscovici Klassifikation

Abbildung 4: Frakturtypen der beiden Kohorten im Vergleich

Abbildung 5: FAOS Scores für Operationen von innerhalb bzw. mehr als 14 Tagen nach Trauma, berechnet mittels Mann Whitney U-Test

## Abkürzungsverzeichnis

A.	–	Arterie
ABI	–	Ankle Brachial Index (Knöchel-Arm-Index)
AO	–	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
AOFAS	–	American Orthopaedic Foot and Ankle Society
ASA	–	American Association of Anesthesia
ATFL	–	Anteriores tibio-fibulares Ligament
ATRS	–	Achilles Tendon Rupture Score
BMI	–	Body Mass Index
CFL	–	Calcaneo-Fibular Ligament
CRPS	–	Complex Regional Pain Syndrome
CT	–	Computertomographie
FAOS	–	Foot and Ankle Outcome Score
IOL	–	Interosseus Ligament
ISS	–	Injury Severity Score
LCP	–	Less Compression Plate
MRT	–	Magnetresonanztomographie
M.	–	Muskel
N.	–	Nerv
Nm	–	Newtonmeter
NSAID	–	Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs (Nichtsteroidales Antirheumatikum)
NYP / CUMC	–	New York Presbyterian Hospital / Columbia University Medical Center
OMAS	–	Olerud-Molander-Ankle-Score
ORIF	–	Open Reduction and Internal Fixation (Offene Reposition und Interne Fixation)
OSG	–	Oberes Sprunggelenk
OTA	–	Orthopaedic Trauma Association
p	–	probability (Wahrscheinlichkeit)
PA	–	Pronation Abduktion
PDS	–	Polydioxanone, Ethicon, Sommerville (New Jersey, USA)
PECH	–	Pause, Eis, Compression (Kompression), Hochlagern

PER	–	Pronation, External Rotation (Pronation-Eversion)
PROM	–	Patient Reported Outcome Measures
PTFL	–	Posterior talofibular Ligament
SA	–	Supination-Adduktion
SER	–	Supination, External Rotation (Supination-Außenrotation)
V.	–	Vene

# 1 Einführung

Verletzungen des oberen Sprunggelenks gehören zu den häufigsten Verletzungen des Bewegungsapparates. Dazu gehören Frakturen, Band- und muskuläre Verletzungen, welche in der Komplexität, den Behandlungsmöglichkeiten und daraus resultierenden funktionellen Ergebnissen variieren können. Eine unzureichende anatomische Versorgung der Verletzungen, wie zum Beispiel eine inadäquate Osteosynthese, können zu einer rasch progredienten posttraumatischen Arthrose führen. Auch können eine ausbleibende Stabilität nach Band- oder Muskelverletzungen, besonders der Achillessehne, relevante Einschränkungen in der Lebensqualität verursachen. Auf Grund der Langzeitfolgen soll im Rahmen dieser Arbeit eine eher ganzheitliche Betrachtung von Erscheinungsformen und Verletzungen des oberen Sprunggelenks angestrebt werden. Dabei sollen Frakturen, Außenbandverletzungen wie auch Rupturen der Achillessehne einbezogen werden.

In der Arbeit wird zunächst im ersten Kapitel die Anatomie, gefolgt von den verschiedenen Verletzungsentitäten und –mustern skizziert. Im Weiteren soll das Spektrum der wichtigsten Behandlungsmöglichkeiten und potentiellen Komplikationen kurz dargestellt werden. Im zweiten Teil werden ausgewählte eigene wissenschaftlichen Studien, welche an der NYP / CUMC erarbeitet wurden, vorgestellt und vertieft. Dabei werden die verschiedenen Verletzungsmuster, Behandlungsoptionen, Komplikationen und funktionelle Ergebnisse aufgezeigt. Anschließend folgt im dritten Kapitel eine kritische Würdigung dieser Studien inklusiven ihrer Limitationen. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse sowie ein Ausblick auf weiterführende Fragestellungen sind Gegenstand des vierten Teils.

## 1.1 Anatomie

Das obere Sprunggelenk (*Articulatio talocruralis*), ein Scharniergelenk, besteht aus der distalen Tibia mit dem medialen Malleolus und der distalen Fibula. Diese bilden eine Gelenkgabel, die mit dem Talus kommuniziert. Das Volkmann'sche Dreieck agiert als Rückhaltesystem und vermeidet ein hinteres Talusgleiten [1]. Die Stabilisation wird mittels Gelenkkapsel, Ligamenten sowie dynamisch mit den Muskeln erreicht. Die Gelenkkapsel besteht aus verschiedenen Teilen: Die ventrale Kapsel setzt am ventralen Anteil der distalen Tibia an [2] und erstreckt sich 10,3 mm von anteromedial, 13,5 mm anterior in der Mitte und 9,8 mm in den anterolateralen Part. Proximal zeigt sich dagegen ein Ausmaß von 8,7 mm posteromedial, 6,2 mm posterior in der Mitte und 3,5 mm posterolateral. Im Bereich des medialen Malleolus wird keine Kapsel identifiziert. Im posterioren Fibulabereich hingegen beträgt der Kapselraum weniger als

1 mm. Auf der medialen Seite zeigt sich eine Integration und Verdickung des Ligamentenkomplexes (Deltaband), sowie des transversen tibiofibularen Ligaments, das posterolateral des Sprunggelenks verläuft.

Ligamentär ist das mediale Deltaligament der Hauptstabilisator. Es kann in ein oberflächliches und tiefes Band unterteilt werden kann. Es bildet ein trianguläres Band, das aus dem tibionavicularen Band, dem tibioalcanearem Band (oberflächlich) und dem vorderen und hinteren Anteil des tibiotalaren Bandes (tiefer Anteil) gebildet wird. Der laterale Bandkomplex besteht aus dem anterioren und posterioren talofibularen Ligament (ATFL respektive PTFL) und dem calcaneofibularen Ligament (CFL). Die Malleolargabel, auch Tibiofibulargelenk genannt, wird durch die Syndemose verbunden. Sie besteht aus drei Teilen: dem anterior-inferioren und posterior-inferioren tibiofibularen Ligament und dem interossären Ligament [3], [4]. Die Stabilität des oberen Sprunggelenks wird am ehesten durch das tiefe Deltaband erreicht, welches ein Gleiten des Talus von mehr als 2 mm nach lateral verhindert [5], [6]. Muskulär besteht eine dynamische Stabilisation aus den Extensoren, dem Triceps Surae Muskel (M. Soleus, M. Gastrocnemius, M. Plantaris), die in die Achillessehne übergehen, dem M. Extensor digitorum longus und M. Extensor hallucis longus, zum Teil des M. Tibialis posterior und den Flexoren, bestehend aus dem M. Tibialis anterior wie auch M. Flexor digitorum longus und M. Flexor hallucis longus.

Die Achillessehne ist die stärkste menschliche Sehne; sie ist Teil des achillo-kalkaneal-plantaren Systems [7]. Mit einem Durchmesser von 6,8 cm (4,5–8,6 cm) ist diese die größte Sehne im menschlichen Körper und kann bis zu dem 12-fachen des Körpergewichts bei maximaler Belastung aushalten [8]. Im Vergleich zu anderen Sehnen verläuft diese nicht in einer Sehnenscheide, sondern ist von einem Paratenon bestehend aus fibrovaskulärem Gewebe umgeben. Auf Grund des leicht posterioren Verlaufs entsteht ein Freiraum (Dreieck) begrenzt durch die Tibia, den Kalkaneus und die Achillessehne. Dieser ist mit Fettgewebe gefüllt, auch Kager'scher Fettkörper, genannt. Die Durchblutung wird vor allem über den muskulotendinösen Übergang, das Paratenon und den Kager'schen Fettkörper ermöglicht, wodurch das mittlere Drittel im Vergleich zur sonstigen Sehne hypovaskulär ist [9]. Zudem liegt eine Bursa subachillea zwischen der Tibia und der Achillessehne, welche mit Synovialflüssigkeit gefüllt ist. Distal geht die Achillessehne über den Kalkaneus in die Plantarfaszie über, wodurch das achillo-kalkaneal-plantare System gebildet wird [10]. Dadurch wird im oberen Sprunggelenk eine aktive Dorsalflexion (Flexion) von 20° und eine Plantarflexion (Extension) von 55°-70° ermöglicht, wobei die Dorsalflexion endgradig mit einer kombinierten Außenrotation von 6° und leichter Pronation einhergeht [11], [12], [13].

Auch wenn die Achillessehne anatomisch gesehen nicht zum oberen Sprunggelenk gehört, können Verletzungen zu wesentlichen Einschränkungen des Sprunggelenks wie auch Veränderungen des gesamten Unterschenkels, Rückfußes und Mittelfußes führen. Aus diesem Grund werden diese in der vorliegenden Arbeit über Verletzungen des oberen Sprunggelenks ebenfalls betrachtet. Biomechanisch ist das obere

Sprunggelenk, das eine kleine Kontaktfläche hat, Kräften von bis zum 1,5-fachen beim normalen Gang und bei Belastung bis zum 5,5-fachen des Körpergewichts ausgesetzt. Für das Laufen wird der Gang in drei Phasen eingeteilt – den ersten Fersenkontakt zum Boden (heel rocker), die dynamische Verlagerung des Kniegelenks hin zum Sprunggelenk (ankle rocker) und das Abheben der Ferse vom Boden (forefoot rocker) [14]. Daher ist für seine reibungslose und langlebige Nutzung eine Kongruenz der Gelenkflächen bei guter Stabilität essenziell [1].

## **1.2 Verletzungen - Epidemiologie**

Sprunggelenks- und Fußverletzungen sind mit 20 % eine der häufigsten Ursachen dafür, dass Patienten die Rettungsstelle aufsuchen [15]. Ein Großteil davon leidet unter Verletzungen des Bandapparates, wie Instabilitäten durch Rupturen des Ligamentum deltoideum oder des äußeren Bandapparates. Die Inzidenz in 2010 für Bandverletzungen lag bei 254/100.000. Sie zeigt seit 1986 (mit 504/100.000) eine deutliche Abnahme. Hierbei sind vor allem die Ligamente des Sprunggelenks betroffen (228/100.000), gefolgt von Verletzungen des Fuß-Bandapparates (26/100.000). Im Gegensatz dazu kam es im gleichen Zeitraum zu einem Anstieg der Frakturen von 25,3 % auf 28,3 % [16]. Das Durchschnittsalter der Patienten mit Sprunggelenksfrakturen ist dabei  $40,4 \pm 22,7$  Jahre respektive  $35,5 \pm 20,9$  Jahre für Fußfrakturen. Männer unter 50 Jahren sind am häufigsten betroffen [1]. Dagegen sind ligamentäre Verletzungen eher bei jüngeren Patienten mit einem Durchschnittsalter von  $29,6 \pm 16,7$  Jahren respektive  $26,7 \pm 17,9$  Jahren zu finden.

Die Syndesmose ist in etwa 1 bis 18 % aller Sprunggelenksdistorsionen betroffen [4]. Ihre Inzidenz wird für die USA mit 2,09 je 100.000 Einwohner angegeben [17]. Eine weitere häufige Einschränkung des Sprunggelenks betrifft die Achillessehne. Hierbei ist die Inzidenz einer Achillessehnenruptur im Zeitraum 1979 bis 2011 signifikant von 2,1 auf 21,5 pro 100.000 Personen gestiegen [18].

## **1.3 Weichteilverletzungen**

Weichteilverletzungen des Sprunggelenks treten mit 34,4 % besonders häufig im Sport, vor allem bei Gewichthebern, Tänzern sowie in Ballsportarten (z.B. Squash, Fußball, Rugby, Tennis), auf. Sie machen etwa 10-30 % aller Sportverletzungen aus. Ein Großteil der Verletzungen betrifft den lateralen Bandapparat mit 76,7 %, gefolgt von Frakturen mit 16,3 % der Fälle [19], [20]. Für Syndesmosenverletzungen ist die



Inzidenz mit bis zu 70 % beim professionellen Hockey am höchsten [21]. Dagegen machen Achillessehnenrupturen über 60 % aller Ballsportverletzungen aus [18]. Das Durchschnittsalter liegt zwischen 30 und 49 Jahren bei Sportlern und zwischen 49 und 60 Jahren in der übrigen Bevölkerung. Auf Grund des Anstiegs der Verletzungen wurde von 1986 bis 2010 in den Niederlanden eine Zunahme der Behandlungskosten um 1,2 % auf insgesamt 161,9 Millionen Euro registriert [16].

Verletzungen der Ligamente können je nach Lokalisation – medial oder lateral entsprechend der einzelnen Bandstrukturen oder nach akut und chronisch klassifiziert werden. Wie bereits erwähnt, besteht das Außenband aus drei Ligamenten, während beim Innenband zunächst zwischen einem oberflächlichen (zwei Ligamente) und einem tiefen Band mit Bündeln unterschieden wird. Der häufigste Unfallmechanismus ist die Inversion und Plantarflexion bei gleichzeitiger Außenrotation der Tibia beim Fersenauftritt. Der Malleolus medialis agiert hierbei als Drehpunkt und erhöht den Stress auf den äußeren Bandapparat. Am häufigsten wird eine isolierte vollständige Ruptur in 50-75 % der Fälle identifiziert, wohingegen Teilrupturen nur in 1 % vorkommen [22]. Sobald der Fuß aus dem Fersenaustritt in die Schwungphase übergeht, welche mit einer Dorsiflexion verbunden ist, herrscht der maximale Stress auf dem CFL. Auf Grund der einwirkenden Kraft können Verletzungen in 15-25 % hervorgerufen werden [23]. Der Schweregrad wird in mild (I), moderat (II) und schwerwiegend (III) eingeteilt, wobei nicht wesentlich zwischen Grad II und III unterschieden wird [12], [24]. Nach akuter Sprunggelenksinstabilität gehen etwa 20 % der Außenbandverletzungen in eine chronische Form über (z.B. nach multiplen Sprunggelenksdistorsionen). Auf Grund der Instabilität sind häufig Sehnenentzündungen, Engpasssyndrome (Impingement-Syndrom), Rupturen von Muskeln oder osteochondralen Läsionen zu sehen. Die Instabilität führt dabei zu vermehrtem Stress auf die anderen intakten Ligamente, was zu einer medialen Instabilität führen kann [25].

Das Deltaligament ist vergleichsweise stark, besonders das posterior-tibiofibulare Ligament. Deshalb sind isolierte Bandrupturen, wie zum Beispiel nur des tiefen Deltabandes – dem Hauptstabilisator -, selten, aber dennoch möglich [26], [6]. Häufigstes Trauma ist eine Kombination aus Plantarflexion und Eversion, welche nach Lauge-Hansen häufig mit Frakturen einhergeht [27]. Die Deltabandverletzungen können in etwa 20-50 % aller Eversions-Außenrotationsverletzungen beobachtet werden [28], [29].

Eine weitere Verletzung des Bandapparates ist die Syndesmosenverletzung. Sie tritt in etwa 6,7 % aller Sprunggelenksdistorsionen auf, das heißt, mit einer Inzidenz von 4,8 Fällen pro 1.000 Personen pro Jahr. Etwa 73 % aller Eishockeyspieler in der National Hockey League in den Vereinigten Staaten sind davon betroffen [30], [31]. Bei Weber-B Frakturen gehen ungefähr 20 % mit einer Syndesmosenverletzung einher [32]. Diese treten in einer Kombination von exzessiver Außenrotation und kombinierter endgradiger Dorsiflexion oder einer Kombination aus Dorsalflexion mit Adduktion oder Abduktion des Fußes auf.

Dadurch wird eine vermehrte Kraft auf die Syndesmose ausgeübt, die zu einer Ruptur und Talusinstabilität führen kann[33]. Neben einem ossären Ausriss der Syndesmose kann eine rein ligamentäre Verletzung vorliegen, welche in eine partielle und eine komplette Form eingeteilt werden kann.

Die Syndesmosenverletzungen können in drei Schweregrade nach Gerber klassifiziert werden:

- Grad I - stabile Syndesmose im Röntgenbild,
- Grad II - vollständige Ruptur des ATFL und intraossärem Ligament (IOL) bei Röntgenbild mit positivem Squeeze Test und Außenrotation und
- Grad III - vollständige Ruptur aller drei Anteile (ATFL, IOL, PTFL) und Deltaband Avulsion.

Bei Grad III ist im Röntgenbild eine Instabilität des Gelenks zu sehen mit einem Medial Clear Space von mehr als 2 mm [20], [34]. Die Instabilität zwischen Fibula und Tibia mit axialen Stauchungskräften kann dann zu einer Verletzung der Membrana interossea führen, welche in Kombination mit einer proximalen Fibulafaktur Maisonneuve-Verletzung genannt wird [35]. Zur Feststellung ist eine CT-Untersuchung gegebenenfalls im Seitenvergleich zur kontralateralen Seite zu empfehlen.

Achillessehnenrupturen kommen vor allem bei Männern (Verhältnis Männer : Frauen 2:1 bzw. 11:1 im Alter zwischen 30-40 Jahren) vor [36], [37]. Sie können in chronisch und akut eingeteilt werden. Dabei treten die akuten am häufigsten auf. Zudem kann die akute Form in offene oder geschlossene Ruptur unterschieden werden, wobei die offene Form mit Penetrationsverletzungen einhergeht. Weitere Klassifikationen unterteilen in Rupturen des proximalen, mittleren und distalen Drittels oder nach Dehiszenz der beiden Sehnenstümpfe [38].

Risikofaktoren sind unter anderem die Einnahme von Steroiden, Antibiotika wie Fluoroquinolen, chronische Tendinopathien, die mit Degenerationen einhergehen [39], und auch seltenere Erkrankungen wie Morbus Bechterew [40]. Die Lokalisation der Ruptur ist typischerweise etwa 2-6 cm oberhalb des Kalkaneusansatzes und damit hypovaskulär [41]. Eine Ruptur der Kollagenquervernetzung beginnt typischerweise bei einer Dehnung von mehr als 4 %, während es bei einer Dehnung von mehr als 8 % zu einer vollständigen Ruptur kommt [42]. Auf Grund einer Läsion kommt es zu einer Einschränkung der Plantarflexion.

Sonstige Weichteilverletzungen sind selten, weshalb sie nicht näher im Detail aufgeführt werden. Dazu gehören unter anderem Verletzungen von Peronealsehnen, sonstigen Extensoren und Flexoren. Das Kompartmentsyndrom bildet dabei keine isolierte Weichteilverletzung, sondern wird in der vorliegenden Arbeit als Komplikation behandelt.

## 1.4 Frakturen

Obere Sprunggelenksfrakturen zählen mit 9 % zu den häufigsten Verletzungen der unteren Extremität [43]. In 2011 erfolgten etwa 75.000 stationäre Aufnahmen in deutschen Krankenhäusern auf Grund von Sprunggelenksfrakturen [44]. Die Inzidenz wird mit 107 bis 184 Fällen pro 100.000 Personen angegeben. Davon sind etwa 2 % offene Frakturen [43], [45]. Hierbei sind isolierte Tibiafrakturen selten und gehen in 75-85 % aller Fälle mit Fibulafrakturen einher [46]. Sie treten vor allem bei Männern unter 50 Jahren auf. Im höheren Alter sind vor allem Frauen betroffen. Zu den häufigsten Ursachen zählen Stürze und sportliche Aktivitäten [43], [47]. Auf Grund des zunehmenden Alters der Patienten/innen ist mit einer Vielzahl von Komorbiditäten zu rechnen, wobei Diabetes mellitus und Adipositas die Hauptursachen sind [47]. Viele Frakturen sind mit ligamentären Verletzungen verbunden, die grob als uni-, bi- oder trimalleolar klassifiziert werden können [13].

Weitere Klassifikationen für Fibulafrakturen und mediale Malleolarfrakturen sind die Lauge-Hansen [48], [49], Danis-Weber [50], [51] und die Herscovici Klassifikation [52], [53]. Auch wird die international anerkannte AO/OTA Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese / Orthopaedic Trauma Association) [54] angewendet, die für das komplette Skelett genutzt werden kann.

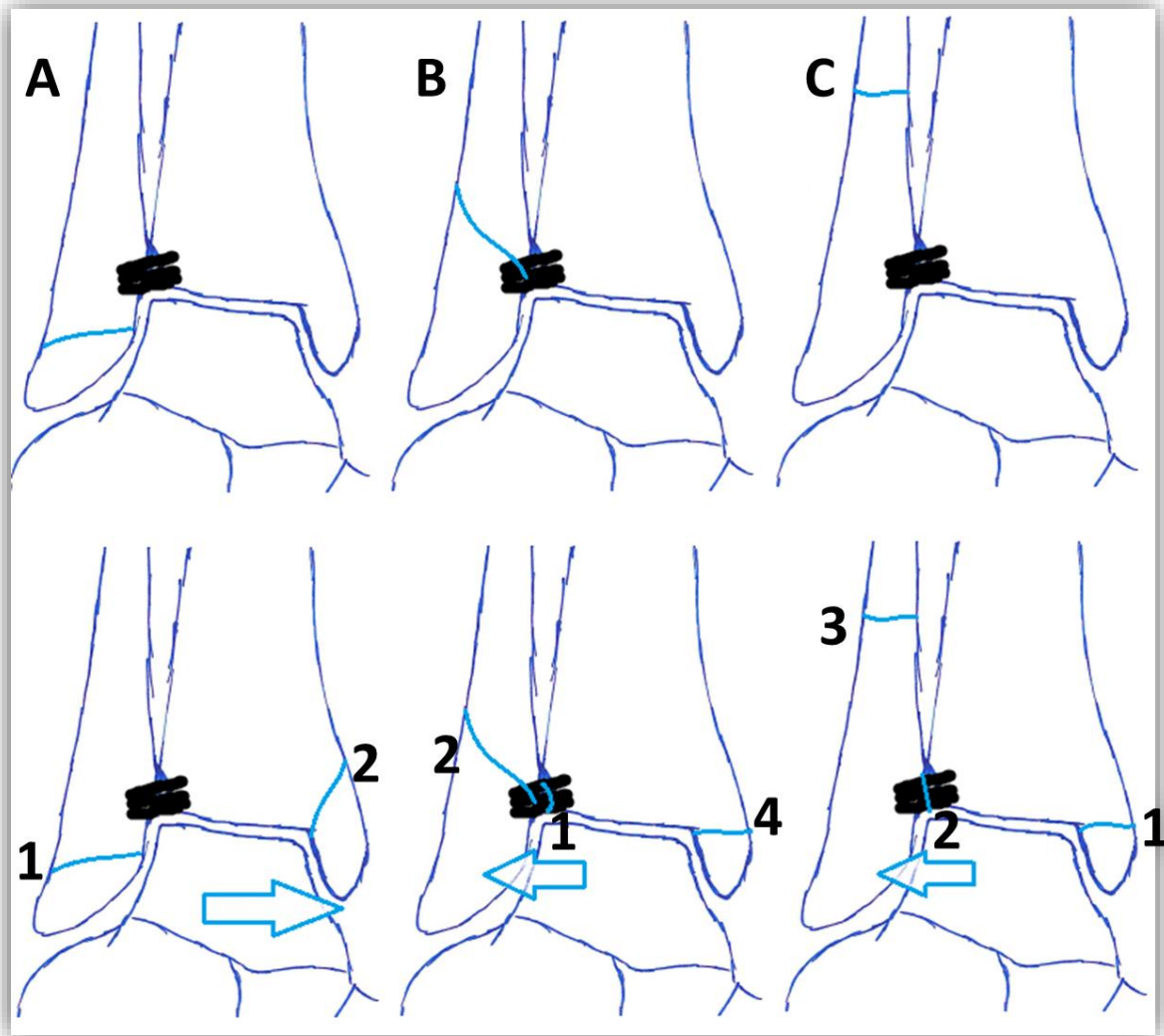
Die Klassifikation nach Lauge-Hansen berücksichtigt dabei mit ihrer Zuordnung nach Supination-Außenrotation (SER Typ 1-4), Supination-Adduktion (SA Typ 1-2), Pronation-Außenrotation (PER Typ 1-4) und Pronation-Abduktion (PA Typ 1-3) den Unfallmechanismus. Am häufigsten wird die Supination-Außenrotation beobachtet, die sich in stabil (Typ 1-3) oder instabil (Typ 4) subklassifizieren lässt. Dabei liegt bei einer SER Typ IV Verletzung eine mediale Malleolarfraktur respektive Deltabandläsion vor. Danis-Weber dagegen klassifizieren den Typ der Fibulafrakturen abhängig von der Höhe des Bruchs. Diese variiert von oberhalb der Syndesmose (Typ C), auf Höhe der Syndesmose (Typ B) oder infrasyndesmosal (Typ A). Die Klassifikation berücksichtigt dabei nicht den Grad der Sprunggelenksinstabilität, welche mit Weichteilverletzungen einhergeht.

Einen Überblick über die verschiedenen Klassifikationen gibt Abbildung 1. [54]

Höhe der Fibulafraktur	Danis-Weber	Lauge-Hansen	AO/OTA
Infrasyndesmosal	Typ A	SA 1-2	44-A1 lateral 44-A2 lateral und medial 44-A3 lateral, medial und posterior

<b>Transsyndesmosal</b>	Typ B	SER 1-4	44-B1 lateral 44-B2 lateral und medial 44-B3 lateral, medial und posterior
<b>Suprasyndesmosal</b>	Typ C	PER 1-4, PA 1-3	44-C1 einfache diaphyseal 44-C2 multifragmentär 44-C3 proximal lateral

Abbildung 1: Frakturklassifikationen für laterale Malleolarfrakturen; Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Tartaglione, J.P., et al. [49]



Supination-Adduktion (SA) Supination-Außenrotation (SER) Pronation-Außenrotation (PER)

Abbildung 2: Obere Reihe: Danis-Weber-Klassifikation; untere Reihe: Lauge-Hansen Klassifikation. Bei SER 3 und PER 4 zusätzlich mit Fraktur des Volkmann'schen Dreiecks; Quelle: Eigene Darstellung

Für mediale Malleolarfrakturen wird häufig die Herscovici Klassifikation verwendet, die Ähnlichkeiten mit der Danis-Weber-Klassifikation aufweist. Sie unterscheidet zwischen Avulsionsverletzung (Typ A), Fraktur zwischen Spitze und Tibiaplafond (Typ B), auf Höhe des Tibiaplafonds (Typ C) oder vertikal zu dem Plafond (Typ D). Die AO / OTA ist allgemeiner und berücksichtigt neben dem Gelenk auch die Komplexität der Fraktur. Hierbei wird zwischen A1-3 bis C1-3 unterschieden. Alle genannten Klassifikationen lassen sich anhand von konventionell radiologischen Bilder in Mortise und lateraler Aufnahme darstellen.

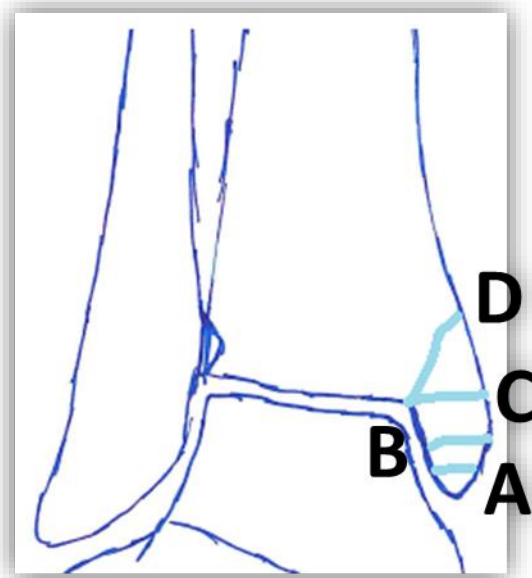


Abbildung 3: Darstellung der Herscovici Klassifikation Typ A bis D; Quelle: Eigene Darstellung

Neben der Beschreibung des Frakturtyps ist es zudem essentiell, zwischen offener und geschlossener Fraktur zu unterscheiden. Bei offenen Frakturen wird die Gustilo Klassifikation (Typ I bis IIIC) verwendet. Sie reicht von minimal offen (unter 1 cm) bis zur offenen Fraktur mit rekonstruktionspflichtiger Gefäßverletzung, subtotaler oder totaler Amputation (IIIC) [55], [56].

## 1.5 Diagnostik und klinische Untersuchungen

In der klinischen Untersuchung müssen zunächst grobe Verletzungen wie offene Frakturen oder Dislokationen identifiziert werden. Bei einem Verdacht auf eine Fraktur sollte der Fuß provisorisch in einer Schiene ruhiggestellt werden. Zudem sollte während der Inspektion der neurovaskuläre Status erhoben werden. Da bei Sprunggelenksverletzungen eine Blutdruckmessung der unteren Extremität (schmerzbedingt) schwierig ist, kann kein Knöchel-Arm-Index erhoben werden [57]. Alternativ sollte der Puls von der A. dorsalis pedis, A. tibialis posterior und A. fibularis getastet respektive gedopplert werden. Zudem ist es wichtig, die Rekapillarierungszeit zu messen. Zur Bestimmung des neurologischen Status sollte die Sensibilität des N. suralis, N. saphenus, N. tibialis, N. peroneus superficialis, N. cutaneus dorsalis lateralis suralis und N. peroneus profundus erhoben und dokumentiert werden.

Zum Ausschluss einer Fraktur sollten die Ottawa-Regeln angewendet werden, um unnötige Röntgenuntersuchungen zu vermeiden. Diese basieren auf der Erkenntnis, dass einerseits 95 % aller Patienten mit Verletzungen des Sprunggelenks Röntgenbilder erhielten, andererseits aber nur in 25 % der Fälle eine Fraktur diagnostiziert wurde. Nach Anwendung der Ottawa-Regeln konnte die Indikation einer radiologischen Diagnostik auf 28 % aller Sprunggelenksverletzungen reduziert werden [58]. Diese Regeln beinhalten vier einfache Prinzipien, bei denen eine Röntgenuntersuchung indiziert ist:

1. Schmerz in der Malleolargegend,
2. Knochenschmerz entlang der distalen 6 cm der Tibia-Hinterkante oder der Spitze des medialen Malleolus,
3. Knochenschmerz entlang der distalen 6 cm der Fibula-Hinterkante oder der Fibulaspitze und / oder
4. die Unmöglichkeit, kurz nach einem Unfallereignis mehr als 4 Schritte bei der Notfalluntersuchung zu laufen [58].

Für die radiologische Diagnostik sind mindestens zwei Ebenen essentiell: Die Mortise und eine laterale Aufnahme, welche im reponierten Zustand erfolgen sollten. Die Mortise-Aufnahme wird bei 15° - 20° Innenrotation und Dorsalflexion mit dem Fokus des Röntgenstrahls mittig auf der Linie zwischen den Malleoli durchgeführt [59], [60]. Dies ermöglicht, ein laterales Talusgleiten von mehr als 1 mm und eine Außenrotation der distalen Fibula von 25° respektive 20° des Talus zu identifizieren [61], [62]. Die Syndesmose kann mittels des Cotton-Tests untersucht werden, wobei sich ein größerer Abstand der Innenknöchelgelenkfläche zur Talusgelenkfläche (medialer (tibiotalar) clear space) und / oder des tibiofibular clear spaces mit Verminderung der tibiofibularen Überlagerung im Röntgenbild zeigt [63], [64].

Zusätzliche Informationen können ein CT oder ein MRT liefern [65], [66], [67]. Bei Verdacht auf Verletzungen der Gefäße ist die CT-Angiographie das Mittel der Wahl [68]. Zudem bietet die Sonographie eine gute Alternative; sie ermöglicht geübten Untersuchern eine dynamische Untersuchung [69].

Bei einem stabilen Sprunggelenk ohne Nachweis einer Fraktur sollte die Beweglichkeit des OSGs – Dorsalflexion und Plantarflexion – untersucht werden. Dazu gehören der Talusvorschub, welcher nicht mehr als 8 mm sein sollte, und der Talar Tilt Test (Inversions- oder Varusstresstest) zur Beurteilung der medialen und lateralen OSG-Aufklappbarkeit. Zudem sollte das Kniegelenk untersucht werden, um eine mögliche Maisonneuve-Verletzung auszuschließen. Der Squeeze-Test mit Kompression der Malleolargabel hilft zum Ausschluss einer Syndesmosenverletzung. Bei Verdacht einer Achillessehnenruptur sollte zudem der Thompson-Test durch Wadenkompression in Bauchlage durchgeführt werden, um die Funktionsfähigkeit der Achillessehne durch Plantarflexion zu prüfen. Bei totaler Ruptur bleibt eine passive Plantarflexion aus. In einigen Fällen kann eine Lücke in der Achillessehne auf Höhe der Ruptur ertastet werden. Bei Partialrupturen sollte die Kraft mittels Dorsalflexion oder Plantarflexion gegen Widerstand untersucht werden. Darüber hinaus sollen der Matles-Test, der in Bauchlage bei 90° Knieflexion durchgeführt wird, wie auch der Zehenspitzenstand („Heel-Rise“ vorgenommen werden. Bei intakter Achillessehne zeigt sich beim Matles-Test eine leichte Plantarflexion, während eine Neutralstellung im OSG gegebenenfalls mit Hyperpronation auf eine Achillessehnenruptur hinweisen kann. Alle Untersuchungen sollten im Vergleich zur Gegenseite erfolgen, um Abweichungen zu erkennen. Bei sonstigen Weichteilverletzungen oder Instabilitäten kann eine Podometrie oder Ganguntersuchung, bestehend aus Schwung- und Standphase, hilfreich sein. Hierbei lassen sich Instabilitäten oder Unregelmäßigkeiten (z.B. Humpeln) einfach diagnostizieren.

## **1.6 Behandlungsmethoden und Behandlungsalgorithmen**

Die Therapien reichen von konservativer Therapie bis zur operativen Versorgung, abhängig von der Komplexität, Stabilität, den Weichteilverhältnissen sowie gegebenenfalls den individuellen Patientenanforderungen. Zur Erstversorgung gehört die PECH-Regel.

### *Ligamentäre Verletzungen*

Bei Bandverletzungen werden physiotherapeutische Maßnahmen empfohlen, die zur Verbesserung der Propriozeption, zur Stärkung der Muskulatur und gegebenenfalls zum Umgang mit Gehstöcken beitragen.

Zur Ruhigstellung respektive Stabilisierung können Orthesen oder Tapes (zum Beispiel kinesiologisches Tape) verwendet werden [70]. Tapes verlieren allerdings innerhalb von ungefähr 10 Minuten den stützenden Effekt [12]. Bei chronischen Instabilitäten, die selten als Frakturfolge auftreten, kann eine operative Behandlung notwendig werden. Dabei ist das Standardverfahren zur lateralen OSG-Stabilisierung die Methode nach Broström-Gould, die einen Transfer des Extensorenretinakulums in Kombination mit einer gestielten Lappenplastik des Retinakulums vorsieht [71]. Für die Rekonstruktion des lateralen Bandapparates – ATFL und CFL – wird am häufigsten die Rekonstruktion mittels der Gracilissehne nach Coughlin empfohlen [72]. Jedoch solle vorab eine Arthroskopie des OSGs erfolgen, um latente Verletzungskomponenten zu erfassen, welche mitunter im MRT nicht offensichtlich sind. [73]

### *Achillessehnenrupturen*

Bei Achillessehnenrupturen sind die Lokalisation und die Dehiszenz der Stümpfe von herausragender Bedeutung. Auch wenn die Literatur zu den verschiedenen Behandlungen begrenzt ist, wird im Allgemeinen empfohlen, bei einer Dehiszenz von mehr als 10 mm in Neutralstellung und keiner vollständigen Annäherung der Sehnenstümpfe in Plantarflexion eine Operation durchzuführen. Bei Patienten mit mehr als 10 mm Dehiszenz in Neutralstellung zeigte sich ein signifikanter Kraftverlust im Vergleich zu einer Dehiszenz von weniger als 10 mm [74], [75]. Für diesen Fall wird eine funktionelle Behandlung empfohlen, welche aus Gips oder Achillesschuh (VacuAchil oder Künzli Schuh) besteht. Dazu gehört eine Immobilisation von 1 bis 2 Wochen mit anschließendem Übergang in einen Schuh mit Absatzerhöhung, um die Achillessehne zu entlasten und (Voll-) Belastung nach Maßgabe zu ermöglichen. Zudem sollte mit physiotherapeutischen Maßnahmen begonnen werden [76].

Die operative Behandlung wird bei Patienten mit Re-Ruptur, einer Dehiszenz von über 10 mm sowie bei professionellen Sportlern empfohlen, um eine schnellere Rehabilitation zu ermöglichen. Unabhängig vom Zugang – offen, minimalinvasiv, perkutan oder endoskopisch – ist das Ziel die anatomische Adaptation der Stümpfe durch eine Achillessehnennaht. Hierfür bieten sich verschiedene Methoden an. Mögliche Techniken sind die nach Kessler, Bunnell, Krackow, Ma-Griffith, Webb-Bannister, Cretniks oder Carmont's Naht mittels PDS oder Ethibond Faden [75].

Bei einem Vergleich einer operativen Versorgung mit einer konservativen Therapie bei Achillessehnenruptur konnte keine Studie einen signifikanten Unterschied finden. Die konservative Therapie hat eine deutlich höhere Re-Ruptur Rate mit 13 % versus 2-4 % bei Achillessehnenoperationen, während bei operativer Behandlung, die Komplikationen wie Wundinfektionen, Nervenschäden oder



Hautnekrosen (die mit 4 % deutliche höher sind) auftreten [77]. Innerhalb der verschiedenen operativen Methoden wird die perkutane Technik mit einer 2 %igen Re-Ruptur Rate favorisiert [78], [79].

### *Frakturen*

Vor der Behandlung von Frakturen sind der Typ sowie mögliche Weichteilschäden zu klären. Offene Frakturen bedürfen einer operativen Behandlung. Bei akuten Blutungen ist umgehend ein Druckverband gegebenenfalls ein Tourniquet anzulegen, um diese vorübergehend zu stoppen. Zudem sollte zeitnah eine Reposition der Fraktur erfolgen. Bei offenen Frakturen sollte notfallmäßig neben der Ruhigstellung, der Entfernung von grobem Schmutz die offene Stelle mit sterilen Gazen, die mit Kochsalzlösung 0,9 % getränkt sind, abgedeckt werden. Zudem ist – abhängig vom Schweregrad – eine Tetanus-Impfung wie auch eine intravenöse antibiotische Therapie indiziert [80]. Eine notfallmäßige Operation mit ausgiebigem Debridement und Lavage ist indiziert. Im Falle einer nicht primären internen Stabilisierung (ORIF), muss die Anlage eines Fixateur Externe erfolgen. Das ermöglicht, die Weichteile zu entlasten und vermeidet die Bildung von Druckstellen [81], [82].

Bei geschlossenen Frakturen muss zwischen stabilen und instabilen Brüchen differenziert werden. Stabile Frakturen undislozierte Frakturen wie Avulsionsfrakturen des medialen Malleolus, distale Fibulafrakturen Danis-Weber Typ A können tendenziell konservativ behandelt werden [83]. Bei Bi-, Trimalleolarfrakturen sowie Begleitverletzungen des hinteren Malleolus / Volkmann'schen Dreiecks ist eine operative Versorgung indiziert [1]. Hierbei konnte bei über 65-jährigen Patienten ein signifikanter Unterschied zwischen den klinischen Ergebnissen bei einer operativen und einer konservativen Versorgung (mit einem AOFAS Score von 75,2 +/- 14,38 für operativ und 91,37 +/- 8,96 für konservativ, p=0,001) festgestellt werden [84].

Für die konservative Therapie variiert das Behandlungsprotokoll – ähnlich wie bei der Achillessehnenruptur – von frühfunktioneller Nachbehandlung bis hin zu einer 6-wöchigen Immobilisation. Im Falle einer Dislokation muss, bevor ein Gips angelegt werden kann, eine nahezu anatomische Reposition, am besten unter radiologischer Kontrolle, durchgeführt werden. Bei stabilen Weber-A-Frakturen ist eine sofortige Belastung nach Maßgabe der Beschwerden im Gips möglich. Bei sonstigen Frakturen kann bei adäquater Stellung zunächst ein gespaltener Unterschenkelgips angelegt werden, der nach abschwellenden Maßnahmen in einen geschlossenen Gips umgewandelt werden kann. Anschließend wird eine Immobilisation für 6 Wochen empfohlen. Eine klinisch-radiologische Kontrolle ist im Verlauf notwendig, um mögliche Druckstellen, Hautschäden oder sekundäre Dislokationen frühzeitig festzustellen. Bei guter Stellung kann eine teil- oder anteilig sogar eine Vollbelastung erlaubt werden [85]. Bei isolierten

medialen Malleolarfrakturen empfiehlt Herscovici einen Unterschenkelgips. Dabei soll der Fuß im Gips in leichter Inversion für sechs Wochen angelegt werden. Klinisch-radiologische Verlaufskontrollen werden nach zwei, vier und 6 Wochen empfohlen zur Beurteilung der Stellung und um eine mögliche sekundäre Dislokation frühzeitig zu erkennen. Im Anschluss an eine sechswöchige Gipstherapie können mit einer Mobilisation und mit physiotherapeutischen Maßnahmen begonnen werden, wobei ein hoher Wanderschuh empfohlen wird [53]. Alternativ zur Gipstherapie gibt es ein Vakuumstabilisationssystem (VACOped), das dem Patienten ermöglicht, den Schuh abzunehmen, wobei es zu sekundären Dislokationen kommen kann. Es erlaubt ebenfalls physiotherapeutische Maßnahmen und Fußpflege. Eine prospektive Studie zeigt signifikant höhere funktionelle Defizite in der Beweglichkeit des oberen und unteren Sprunggelenks (20 % respektive 40 % gegenüber 15 % respektive 25 %) mit einer vermehrten Unterschenkelatrophie von 2,1 cm Umfangsdifferenz im Vergleich zur gesunden Seite bzw. 1,4 cm im VACOped [86].

Der Zeitpunkt einer operativen Versorgung ist abhängig vom Weichteilbefund. Dabei wird eine zeitnahe Stabilisierung innerhalb von einer Woche empfohlen, um das Risiko einer Infektion oder von Wundkomplikationen möglichst gering zu halten [87]. Zudem bildet sich weicher Kallus nach 7-9 Tagen (hauptsächlich Typ II Procollagen und Proteoglykan), der sich zu hartem Kallus formt (Procollagen Typ I, Osteocalcin, alkalische Phosphatase und Osteonectin) [88], [89]. Bei Entfernung des Kallus, die für die Säuberung der Frakturränder und anatomischer Stellung notwendig ist, zeigte sich eine signifikante Verzögerung in der Knochenkonsolidierung / Heilung [90]. Dabei wird ebenfalls das Risiko einer sekundären Dislokation und einer Pseudarthrosenbildung durch eine möglichst frühzeitige Ossifikation reduziert. Um eine posttraumatische Arthrose bei Verletzungen mit Beteiligung des Gelenks zu vermeiden, wird eine primäre Knochenheilung – ohne Bildung eines äußeren Kallus - durch frühzeitige und anatomische Reposition mittels Kompression angestrebt. Bei Trümmerfrakturen mit größeren Knochendefekten kommt es häufig zu einer sekundären (enchondralen) Knochenheilung: Hierbei werden mittels Chondroblasten Faserknorpel gebildet und anschließend durch aktivierte Osteoblasten der Kallus moduliert [91].

Die operative Versorgung beinhaltet die offene anatomische Reposition und interne Fixation (ORIF). Dabei kann zwischen Schrauben- und Plattenosteosynthese sowie intramedullärer Fixation unterschieden werden. Um eine sichere Darstellung des Gelenks zu ermöglichen, gibt es verschiedene Zugänge.

Beim anterioren Zugang geht man zwischen dem M. extensor hallucis longus und M. extensor digitorum longus hinein, die beide vom N. peroneus profundus innerviert werden. Die Hautinzision erfolgt zwischen den beiden Muskeln und ermöglicht die Darstellung des Gelenks von ventral. Besonders muss hier auf den N. peroneus superficialis, den R. cutaneus sowie das Gefäß-Nerven-Bündel bestehend aus der A. tibialis anterior und dem N. peroneus profundus geachtet werden.

Für den posterolateralen Zugang erfolgt der Zugang zwischen den Innervationsgebieten des N. tibialis respektive N. peroneus superficialis, welche den M. flexor hallucis longus beziehungsweise die peroneale Muskulatur innervieren. Die Hautinzision sollte an der Hinterkante der Fibula erfolgen, wobei auf den N. peroneus superficialis, die posterioren tibialen Gefäße, den N. tibialis und den N. suralis geachtet werden muss. Der Zugang ermöglicht die Darstellung der Fibula wie auch des Volkmann'schen Dreiecks und der posterioren distalen Tibia.

Der anterolaterale Zugang wird vor allem für Pilon-tibiale-Stabilisationen verwendet. Hierfür erfolgt die Hautinzision ventral der Fibula zwischen dem M. peroneus tertius und dem M. peroneus brevis, welche durch den N. peroneus profundus respektive dem N. peroneus superficialis innerviert werden. Dabei müssen Verletzungen des N. peroneus superficialis, N. peroneus profundus und der A. tibialis anterior vermieden werden.

Um mediale Malleolarfrakturen und Pilon-tibiale Frakturen wie auch Deltaligamentverletzungen darzustellen, ist die Methode der Wahl der anteromediale Zugang. Hierfür wird eine Hautinzision entlang des medialen Malleolus durchgeführt. Die V. saphena magna muss identifiziert und mobilisiert werden. Anschließend können das Deltaligament wie auch mediale Malleolarfrakturen dargestellt werden.

Alternativ kann ein posteromedialer Zugang gewählt werden. Er ermöglicht ebenfalls das Pilon tibiale darzustellen. Die tiefe Präparation erfolgt zwischen dem M. tibialis posterior und dem M. flexor digitorum (beide vom N. tibialis innerviert). Neben den Sehnen verlaufen der N. tibialis, A. und V. tibialis posterior, auf die besonders Acht gegeben werden muss [92].

Die Osteosynthese wurde durch die AO nach den Prinzipien der offenen Reposition und internen Fixation (ORIF) geprägt, um eine maximale Stabilität zu erlangen [93]. Für die Knochenheilung ist neben der Vaskularisation, den Wachstumsfaktoren, dem osteokonduktiven Gerüst und den osteogenen Zellen eine mechanische Stabilität notwendig (Diamond-Konzept). Für letztere sind die Rigidität des Implantats, die Frakturstabilität (relative versus absolute Stabilität), die Frakturlücke und die interfragmentäre Belastung von besonderer Relevanz [94]. Um eine primäre Knochenheilung zu ermöglichen, wird eine Kompression durch z.B. eine interfragmentäre Zugschraube mit anschließender Plattenosteosynthese durchgeführt. Dies ist jedoch bei mehrfragmentären Frakturen mit größeren Knochendefekten nicht möglich. Deshalb wird häufig eine überbrückende Plattenosteosynthese verwendet und damit eine sekundäre Knochenheilung angeregt, die allerdings mit einer erhöhten Rate an Implantatversagen einhergeht [95], [96]. Seitens der zu verwendenden Schrauben werden bei mehrfragmentären Frakturen oder bei osteoporotischen Knochen winkelstabile Schrauben und Platten bevorzugt. Die unikortikalen winkelstabilen Konstrukte zeigen eine signifikant geringere Torsionsfestigkeit verglichen mit den konventionellen Konstrukten ( $p < 0,001$ ). Diese

nehmen allerdings signifikant bei der Ergänzung von nur einer bikortikalen Schraube ( $p=0,001$ ) zu [97]. Bei Fibulafrakturen zeigen sich die besten funktionellen Ergebnisse und die schnellste Knochenheilung bei Verwendung von winkelstabilen (LCP) Fibulaplatten, verglichen mit konventionellen Drittelrohrplatten und LCP Metaphysenplatten. Berücksichtigt werden muss, dass die Studien über die Komplikationen stets mit vergleichsweise wenigen Patienten durchgeführt wurden (z.B.  $n=147$ ), weshalb wir die Komplikationsrate getrennt angeschaut haben [98]. Unklar ist jedoch bisher, wie hoch die Komplikationsrate basierend auf einer großen Studie bei der Verwendung einer konventionellen Drittelrohrplatte ist. Auch die Verwendung von Fibulamarknägeln wird diskutiert, wobei die Auswirkungen der Lernkurve auf die Komplikationsraten noch nicht untersucht wurden. Alternativ für die Behandlung der Fibulafrakturen haben wir zwei Studien durchgeführt, die später im Detail beschrieben werden.

Bei der Behandlung von medialen Malleolarfrakturen variiert die Therapie von Zugurtung, Schrauben bis hin zur Plattenosteosynthese / Abstützplatte. Die Schraubenosteosynthese ist die am häufigsten klinisch angewendete Technik. Gemäß den biomechanischen Studien sollte diese bikortikal erfolgen. Hierbei zeigt diese Methode die größten Ausreißkräfte, verglichen mit einer unikortikalen Fixation [99], [100], [101]. Die klinische Notwendigkeit wurde allerdings noch nicht dargelegt, weshalb wir dies in einer retrospektiven Studie untersucht haben, welche ebenfalls im Detail später beschrieben wird.

Verletzungen des Volkmann'schen Dreiecks zeigen die beste Stabilität bei der Anwendung von Abstützplatten oder Schraubenosteosynthese. Die Abstützplatten werden von dorsal eingebracht anstatt einer indirekten ventralen Fixation durch Zugschraubenosteosynthese [102]. Zudem kann sich in ventralen Fixationen eine sekundäre Dislokation zeigen, da das Fragment weggedrückt wird [103], [104].

### *Syndesmose*

Mittels MRT diagnostizierte Verletzungen der Syndesmose werden sowohl konservativ als auch operativ behandelt. Für Verletzungen ohne Instabilitäten (Partialrupturen) ist eine konservative Therapie (Teilbelastung) empfehlenswert, welche nach dem allgemeinen PECH Prinzip für ein bis zwei Wochen, gefolgt von einer Orthesenversorgung, erfolgt. Eine Belastung nach Maßgabe der Beschwerden ist möglich, wobei parallel Kräftigungs- und Stabilitätsübungen durchgeführt werden sollen. Anschließend muss ein neuromuskuläres und propriozeptives Training bis zur vollständigen Heilung nach durchschnittlich vier bis acht Wochen durchgeführt werden [4], [105], [106], [107]. Bei einem knöchernen Ausriss oder einer Syndesmosenruptur, die mit einer latenten Instabilität oder einer Sprunggelenksfraktur einhergehen, ist eine operative Therapie indiziert. Dabei müssen knöcherne Ausrisse wie auch das tibiofibuläre Gelenk anatomisch reponiert werden, was mittels einem intraoperativen CT überprüft werden sollte. Hierfür

können eine Schraubenosteosynthese wie auch ein dynamische Fadenanker und Faden / Endobutton Stabilisationen verwendet werden. Dynamische Stabilisationstechniken sind vorzuziehen, da eine Implantatentfernung nicht notwendig ist und eine selbstständige Reposition der Syndesmose erfolgt. Bei Syndesmosenschraubenfixationen wie auch den dynamischen Konstrukten (Naht-/Knopf-Konstruktion) sollen diese 2 und 3 cm oberhalb der Gelenklinie erfolgen. Die Schrauben sollten dabei maximal einen Durchmesser von 4,5 mm haben. Eine optimale Position wird bei lateraler Einbringung mit einer anteromedialen Angulation von 20° bis 30° erreicht [108], [109], [110],

Für die Behandlung von chronischen Syndesmosenverletzungen, die per Definition über 6 Monate anhalten, sollte eine Direktnaht der vorderen Syndesmose empfohlen oder eine Rekonstruktion überlegt werden. Ein Allo- oder Autograft wird bevorzugt. Hierfür stehen sowohl die Peroneus brevis oder longus Sehne wie auch die Gracilissehne zur Verfügung [111], [112], [113].

## **1.7 Postoperative Behandlung**

Nach Rupturen des äußeren Bandapparates kann bei Ruhigstellung auf Grund verminderter Propriozeption und zunehmender Muskelatrophie eine verbleibende Instabilität, gefolgt von Krepitation, Schwäche, Steifheit oder Schwellung auftreten. Deshalb ist eine adäquate Therapie notwendig [19]. Auf der anderen Seite muss eine gesicherte Heilung erfolgen, bevor eine vollständige Belastungsfreigabe erfolgen kann. Daher ist es notwendig, einen Mittelweg zwischen Ruhigstellung bis zur endgültigen Heilung und der direkten Vollbelastung zu finden.

Im Allgemeinen empfiehlt man allerdings nach operativer Behandlung einer Achillessehnenruptur eine Immobilisation in einem Gips in Plantarflexion (30°) für zwei Wochen. Anschließend kann eine frühfunktionelle Nachbehandlung begonnen werden, welche eine signifikant schnellere Wiederaufnahme von Arbeit, Sport und anderen Aktivitäten ermöglicht [114], [115]. Dabei sollte die Ruhigstellung in 20°, 10° und 0° für jeweils weitere zwei Wochen erfolgen. Ein anderes systematisches Review beschreibt bei frühfunktioneller Mobilisation eine deutlich höhere Patientenzufriedenheit und ein frühzeitiges Erreichen des prätraumatischen sportlichen Zustands im Vergleich zur Immobilisation. Dagegen zeigten sich keine Unterschiede bezüglich Komplikationen oder der Zeit bis zur Wiederaufnahme von Arbeit oder Sport [116]. Eine andere Studie berichtet hingegen eine signifikant höhere Re-Ruptur Rate in der frühfunktionellen Gruppe verglichen mit den immobilisierten Patienten auf Grund fehlender Compliance der betroffenen Patienten (n=2) [114]. Unabhängig von der postoperativen Vorgehensweise – frühfunktionell vs.

Immobilisation – konnte kein signifikanter Unterschied nach 12 bis 18 Monaten im Hinblick auf Schmerzen und Funktionalität gefunden werden [115].

Für die postoperative Behandlung nach oberen Sprunggelenksfrakturen und vorheriger Versorgung gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Protokollen, welche gemäß ‚Cochrane Systematic Review‘ untersucht wurden [117]. Hier wird allerdings nur allgemein zwischen frühzeitiger und verzögerter Mobilisation unterschieden. Sie wird allerdings nicht näher spezifiziert. In der frühfunktionellen Gruppe erfolgte die Mobilisation 20,62 Tage vor der Immobilisationsgruppe [118]. Die verzögerte Mobilisation erfolgte im Durchschnitt 6 Wochen nach Versorgung. Allerdings wurden unterschiedliche Zeitpunkte der frühfunktionellen Bewegung gewählt, welche zum einen durch Orthesen, Gipsschienen, Elektrotherapie, Neurostimulation, manuelle Therapie, Dehnübungen oder physiotherapeutische Maßnahmen unterstützt wurden. Insgesamt zeigte sich eine minimal bessere Dorsalflexion von 6,17 % und eine geringe Schwellung nach einer nichtthermischen kurzweilig gepulsten Diathermie bei ansonsten insignifikanten Ergebnissen. Die Autoren schließen daraus, dass es für eine frühzeitige Belastung oder die Verwendung von ergänzenden Orthesen oder Spezialgipsen keine einheitliche Grundlage und demnach auch keine Empfehlungen gibt. Darüber hinaus sollten diese nur bei kooperativen Patienten angewendet werden [117].

Gul et al. haben im Vergleich dazu eine direkte postoperative ungeschützte Mobilisation beschrieben und stellten keine signifikanten Unterschiede in Schmerzen, Olerud-Molander Score oder in der Hospitalisationsdauer fest. Dagegen konnten die Patienten bereits nach 36,7 Tage die Arbeit wiederaufnehmen. Die Anzahl der Komplikationen war vergleichbar [119]. Ähnliche Resultate haben Siddique et al. beschrieben [120].

Daher wird bei einfachen Frakturosteosynthesen nach klinisch-radiologischer Kontrolle individuell entschieden. Meistens erfolgt eine Immobilisation des Fußes für ca. 2 Wochen initial mit anschließender Teilbelastung bei beginnender Knochenheilung und abgeheilten Wunden.

Bei operativer Syndesmosenfixation mittels Schrauben wird eine Immobilisation von ca. 3 Wochen angestrebt mit anschließender Teilbelastung für weitere 3 Wochen [121]. Auf eine Vollbelastung sollte für ca. 2 Monate verzichtet werden, um ein Implantatversagen zu vermeiden. Anschließend besteht die Möglichkeit einer Vollbelastung, wobei die Schrauben im Verlauf brechen oder deren operative Entfernung erforderlich wird [110], [122]. Eine klare Evidenz für eine operative Schraubenentfernung besteht allerdings nicht [123], [124]. Bei der Anwendung von dynamischen Stabilisatoren zeigt sich, dass eine Vollbelastung nach Maßgabe der Beschwerden bereits nach zwei bis drei Wochen durchgeführt werden kann [110], [125].

## 1.8 Komplikationen

Abhängig von der Verletzung und durchgeführten Therapie sind die Komplikationen unterschiedlich. Zudem müssen prädisponierende Faktoren wie Komorbiditäten berücksichtigt werden.

### *Komplikationen bei der Behandlung von Achillessehnenrupturen*

Bei der Behandlung von Achillessehnenrupturen ist die häufigste Komplikation nach einem konservativen Prozedere die Re-Ruptur. Bei operativer Versorgung stehen Wundkomplikationen, Infektionen, Neuropraxie oder Verletzungen sonstiger anatomischer Strukturen auf Grund des gewählten operativen Zugangs im Vordergrund [126], [127].

### *Komplikationen bei Sprunggelenksfrakturen*

Für die Komplikationen nach erfolgter Behandlung von Frakturen muss zwischen der konservativen und operativen Therapie differenziert werden. Bei der konservativen Therapie stehen vor allem sekundäre Dislokationen, Ulkusbildungen durch Druckstellen im Gips oder Morbus Sudeck (Complex Regional Pain Syndrome - CRPS) im Vordergrund. Aus Fehlstellungen kann eine posttraumatische Arthrose folgen, welche zu Schmerzen und Bewegungseinschränkungen führen kann. Bei ausbleibender Knochenkonsolidierung spricht man von einer Pseudarthrose, wobei der Bruch nicht adäquat innerhalb von 6 Monaten heilt und dadurch ein Falschgelenk entsteht. Die Inzidenz wird mit 5 bis 10 % der Bevölkerung angegeben und kommt bei bis zu 30 % der Hochrisikopatienten vor [128], [129], [130], [131], [129]. Zudem besteht das Risiko einer Beinvenenthrombose auf Grund der ausbleibenden Muskelpumpe durch die Ruhigstellung des Unterschenkels in einem Gips oder einer Orthese.

Bei der operativen Behandlung soll eine möglichst anatomische Reposition erfolgen, um eine Dislokation und die resultierende posttraumatische Arthrose zu vermeiden. Allerdings können ergänzend Wundhämatome, Wundheilungsstörungen beziehungsweise Infektionen, Fehlstellung durch Implantatversagen oder Fehlreposition auftreten, welche ebenfalls zu Arthrose führen können. Langfristig können die Implantate (Schraube, Platte oder Nagel) eine Irritation der Weichteile verursachen und bis hin zur Sehnenruptur (z.B. Peronealsehnenverletzung) führen, weshalb eine Implantatentfernung und damit Folgeoperation im Verlauf diskutiert werden muss [44].

Auf die Komplikationen haben zudem neben der initiierten Therapie Verletzungsmuster wie auch prädisponierende Faktoren einen großen Einfluss. Bei einer vorliegenden Luxationsfraktur können Kontrakturen der Muskulatur folgen, weshalb eine unverzügliche Reposition des Sprunggelenks erfolgen muss. Auch kann es auf Grund des Traumas zu Gefäß- und Nervenverletzungen kommen. Eine seltene Komplikation ist das Kompartmentsyndrom, das aus einer Einblutung in die Muskellogen resultiert. Andere prädisponierende Faktoren können Rauchen, Mangelernährung, ein hohes Alter oder Begleiterkrankungen (wie Diabetes mellitus), oder Immunsuppression durch anderweitige Erkrankungen (wie Autoimmunerkrankungen, HIV, Krebs) sein. Auch die Einnahme von nichtsteroidalen antientzündlichen Medikamenten (NSAID) oder Steroidhormonen kann Komplikationen begünstigen.



## **1.9 Wissenschaftliche Fragestellungen**

Basierend auf der vorliegenden Literatur und den klinischen Tätigkeiten entwickelten sich im Verlauf der eigenen Forschungsarbeiten folgende Fragestellungen, die durch klinische experimentelle Untersuchungen und Literaturrecherchen am New York-Presbyterian Hospital / Columbia University Medical Center (NYP / CUMC), New York, USA erforscht wurden;

1. Besteht ein relevanter Unterschied in der Komplikationsrate und den klinisch funktionellen Ergebnissen bei einer operativen Versorgung von Verletzungen des OSG innerhalb von 14 Tagen verglichen mit einer verzögerten Operation nach mehr als 14 Tagen?
2. Besteht ein Unterschied in der Komplikationsrate und in den funktionellen Ergebnissen bei Patienten mit und ohne Luxationsfrakturen?
3. Wie hoch ist die Komplikationsrate bei der Behandlung von medialen Malleolarfrakturen mittels unikortikaler Fixation?
4. Welche Komplikationen treten nach der Plattenosteosynthese von Fibulafrakturen auf?
5. Wie hat sich die intramedulläre Osteosynthese von Fibulafrakturen im Zeitablauf entwickelt und wie sind die Ergebnisse?
6. Wie hoch ist die Inzidenz von degenerativen Sehnenveränderungen entlang der nicht rupturierten Sehne bei akuten Achillessehnenrupturen?
7. Welche Methoden der Kraftmessung nach erfolgter Sprunggelenksbehandlung wurden beschrieben und gibt es ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung der Kraft?

## 2 Originalarbeiten und Ergebnisse

### 2.1 Zeitpunkt der Behandlung von Sprunggelenksverletzungen (Arbeit 1)

Sobald die Indikation einer operativen Versorgung von Sprunggelenksverletzungen gestellt wird, kommt häufig die Frage nach dem idealen Zeitpunkt auf. In der Literatur wird diesbezüglich zwischen frühzeitiger Operation, welche innerhalb von 24 bis 48 Stunden stattfindet und verzögerter Versorgung innerhalb von 7 Tagen unterschieden. Einige Studien zeigen bei frühzeitiger Versorgung eine verminderte Wundkomplikationsrate und kürzere Hospitalisationsdauer [87], [132], wohingegen andere kein erhöhtes Risiko feststellen konnten [133], [134]. Auf Grund der fortschreitenden Ökonomisierung des Gesundheitssektors bekommen die Indikation und der Zeitpunkt der Versorgung einen zunehmend höheren Stellenwert, da eine verzögerte Versorgung der Frakturen für den Operateur wie auch die Klinik besser planbar sind. Dadurch lassen sich das soziale Umfeld besser abklären sowie die Hospitalisationsdauer und die Rehabilitationsphase genauer planen. Auf Grund der eingeschränkten Datenlage, die eine Versorgung innerhalb von 14 Tagen berücksichtigt, untersuchten wir die Komplikationsrate wie auch die klinischen Ergebnisse retrospektiv am NYP / CUMC zwischen Januar 2010 und Dezember 2013.

Für die Auswertung wurden verschiedene statistische Verfahren verwendet. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden für normalverteilte kontinuierliche Variablen mittels unabhängigem t-Test berechnet, respektive der Median und Interquartil-Bereich für nicht normalverteilte kontinuierliche Variablen mittels Mann-Whitney-U Test ermittelt. Für kategorische Variablen, wie zum Beispiel Komplikationen, wurde der Pearson  $\chi^2$  Test durchgeführt. Das Signifikanzlevel wurde auf 0,05 bei einem 95 % Konfidenzintervall festgelegt.

Insgesamt wurden 118 Patienten eingeschlossen, die über einen Zeitraum von mindestens 24 Monaten untersucht wurden. Der Zeitpunkt der operativen Versorgung wurde in früh (frühe Gruppe), innerhalb von 14 Tagen und verzögert (verzögerte Gruppe), das heißt solche, die nach zwei Wochen operiert wurden, unterteilt. Die Demographie (Alter, Geschlecht und BMI), Komorbiditäten (ASA Klassifikation), prädisponierende Faktoren wie Rauchen und Diabetes sowie die Operationsdauer der beiden Populationen waren ohne signifikante Unterschiede. Zudem waren die Frakturtypen innerhalb der beiden Gruppen (Weber-Klassifikation, uni-, bi- oder trimalleolar, mit oder ohne Syndesmosenruptur) vergleichbar. (Abbildung 4)

Klassifikation	Operation innerhalb von 14 Tagen (101 Patienten)		Operation nach 14 Tagen (17 Patienten)		p-Werte
	n	%	n	%	
<b>Weber</b>					0,839
A	0	0	0	0	
B	71	70,3	12	70,6	
C	28	27,7	5	29,4	
Hohe C	2	2,9	0	0	
<b>Frakturtyp</b>					0,826
Unimalleolar	4	4,0	0	0	
Bimalleolar äquivalent	40	39,6	7	41,2	
Bimalleolar	42	41,6	6	35,3	
Trimalleolar	15	14,8	5	23,5	
<b>Syndesmosenruptur</b>	27	26,7	4	23,5	0,781
<b>Luxationsfraktur</b>	31	30,7	2	11,8	0,108

Abbildung 4: Frakturtypen der beiden Kohorten im Vergleich. Darstellung: nach Tantigate D. et al. [135]

Im Durchschnitt erfolgte die Frakturversorgung in der frühen Gruppe etwa nach 6 Tagen (3 bis 9 Tage nach Unfall) und in der verzögerten Gruppe etwa nach 19 Tagen (15 bis 21 Tage). Die Wundkomplikationsrate betrug 5 % in der frühen Gruppe und 11,8 % in der verzögerten Gruppe ohne signifikanten Unterschied ( $p=0,906$ ). Bei 58 Patienten erfolgte eine Verlaufskontrolle nach 24 Monaten (im Durchschnitt 38 Monate, von 24-76 Monaten), wobei sich keine signifikanten Differenzen im FAOS Score in Symptomen (78,6 (60,7-92,9) vs. 85,7 (67,9-100,0),  $p=0,206$ ), Schmerz (86,1 (63,9-97,2) vs. 94,4 (75,0-100,0),  $p=0,339$ ), täglichen Aktivitäten (94,9 (78,1-100,0) vs. 97,7 (82,4-100,0),  $p=0,453$ ), Sport (75,0 (40,0-95,0) vs. 87,5 (40,0-100,0),  $p=0,688$ ) und Lebensqualität (59,4 (31,3-81,3) vs. 56,3 (37,5-93,8),  $p=0,252$ ) zeigten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. (Dieser Text und die Tabelle sind aus der oben genannten Publikation entnommen)

FAOS Score, Median und Interquartil-Bereich	Operation innerhalb von 14 Tagen (47 Patienten)	Operation nach 14 Tagen (11 Patienten)	p-Werte
Symptome	78,6 (60,7-92,9)	85,7 (67,9-100,0)	0,206
Schmerz	86,1 (63,9-97,2)	94,4 (75,0-100,0)	0,339
Tägliche Aktivitäten	94,9 (78,1-100,0)	97,7 (82,4-100,0)	0,453
Sport	75,0 (40,0-95,0)	87,5 (40-100,0)	0,688
Lebensqualität	59,4 (31,3-81,3)	56,3 (37,5-93,8)	0,252

Abbildung 5: FAOS Scores für Operationen von innerhalb bzw. mehr als 14 Tagen nach Trauma, berechnet mittels Mann Whitney U-Test. Darstellung: nach Tantigate D. et al. [135]

Auch wenn in der verzögerten Gruppe deutlich weniger Patienten einbezogen und die Weichteilschäden nicht klassifiziert wurden, zeigten sich nur minimale Unterschiede in Komplikationsraten und funktionellen klinischen Ergebnissen. Trotzdem sollte eine frühestmögliche Versorgung vorgenommen werden, um möglichst optimale Behandlungserfolge sicherzustellen.

Tantigate D, Gavin H, Kirschenbaum J, Bäcker HC, Asherman B, Freibott C, Greisberg J, Vosseller JT  
Timing of Open Reduction and Internal Fixation of Ankle Fractures  
Foot Ankle Spec. 2018 Nov 14:1938640018810419. <https://doi.org/10.1177/1938640018810419>



















## 2.2 Klinische Ergebnisse bei Luxationsfrakturen (Arbeit 2)

Frakturen können disloziert oder undisloziert sein. Bei Luxationsfrakturen besteht neben der Fraktur eine Luxation des betroffenen Gelenks, woraus meist ein relevanter Weichteilschaden resultiert. Auf Grund dessen ist eine Reposition schnellstmöglich notwendig. Um den Einfluss der Luxation des oberen Sprunggelenks auf die Heilung und die damit verbundenen klinischen Resultate bei diesen Frakturen zu untersuchen, führten wir eine retrospektive Studie durch und verglichen die postoperativen Ergebnisse in der Gruppe mit Luxationsfraktur gegen eine Kontrollgruppe. Das Vorliegen einer Luxation wurde definiert als vollständiger Verlust der Kongruenz im OSG, wohingegen in der Kontrollgruppe, die tibiotalaren Gelenkflächen noch zueinander regelrecht standen.

Alle Patienten im Zeitraum von 2010 bis 2013, die eine Sprunggelenksfraktur hatten und älter als 18 Jahre waren, wurden eingeschlossen. Neben den demographischen Daten wurden das Vorliegen einer Luxationsfraktur, die Frakturtypen, Operationszeit und Komplikationen erfasst. Insgesamt wurden 118 Patienten mit Sprunggelenksfrakturen eingeschlossen, von denen 28 % (33/118) eine Luxationsfraktur initial bei Vorstellung auf dem Notfall zeigten. Das Durchschnittsalter war 46,6 Jahre (von 19 bis 85 Jahren). 56 der 118 Patienten hatten eine Follow-up Zeit von weniger als 12 Monaten ( $9,3 \pm 13,0$  Monaten). Diejenigen, die sich erneut frühzeitig mit anderweitigen Verletzungen präsentierten, mussten ausgeschlossen werden. Zweiundsechzig Patienten hatten Verlaufskontrollen von mehr als 12 Monaten bei einem Median von 37 Monaten (von 12 bis 76 Monaten). Die funktionellen Resultate wurden mittels des Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) erhoben.

In der Luxationsfraktur-Gruppe waren neben einem erhöhten Alter der Patienten ( $53 \pm 15$  vs.  $44 \pm 18$  Jahre,  $p=0,017$ ) vermehrt Frauen (72,7 % vs. 51,8 %,  $p=0,039$ ) einbezogen. Auch litten die Patienten vermehrt an Diabetes mellitus (24,2 % vs. 7,1 %,  $p=0,010$ ). Zudem zeigten sich mehr Bi- und Trimalleolarfrakturen in der Luxationsfraktur-Gruppe (Bimalleolarfrakturen 45,5 % vs. 38,8 % respektive Trimalleolarfrakturen 33,3 % vs. 9,4 %,  $p=0,007$ ), wobei die Zeit zwischen Unfall und operativer Versorgung signifikant kürzer war (4 vs. 8 Tage,  $p<0,050$ ). Verständlicherweise konnten in der Kontrollgruppe mehr Patienten ambulant behandelt und noch am Tag der Operation entlassen werden (51,8 % vs. 81,8 %,  $p=0,003$ ). Die Operationszeit war kürzer in der Kontrollgruppe (100 min vs. 179 min,  $p=0,002$ ), was sich am ehesten auf die einfacheren Frakturtypen zurückführen lässt.

Hinsichtlich der Komplikationen gab es keine signifikanten Unterschiede. Allerdings gaben Patienten mit Luxationsfraktur einen geringeren FAOS an, wobei die Schmerz-Subskala einen signifikanten Unterschied aufwies (76 vs. 92,  $p=0,012$ ). Ansonsten zeigte sich eine Tendenz zu niedrigeren FAOS Werten in der Symptomatik (73 vs. 86,  $p=0,209$ ), täglichen Aktivitäten (87 vs. 96,  $p=0,106$ ), Sport (55 vs. 85,  $p=0,054$ )

und Lebensqualität (50 vs. 63,  $p=0,292$ ) in der Luxationsfraktur-Gruppe, allerdings ohne statistische Signifikanz.

Die Studie zeigte, dass das Vorliegen einer Luxationsfraktur keinen signifikanten Einfluss weder auf die Wundkomplikationsrate, noch den FAOS, ausgenommen die Schmerzsubskala, hat.

Tantigate D, Ho G, Kirschenbaum J, Bäcker HC, Asherman B, Freibott CE, Greisberg JK, Vosseller JT  
Functional Outcomes after Fracture-Dislocation of the Ankles  
Foot Ankle Spec. 2019 Feb 2:1938640019826701. <https://doi.org/10.1177/1938640019826701>





















### *2.3 Komplikationsrate von medialen Malleolarfrakturen bei unikortikaler Fixation (Arbeit 3)*

Mediale Malleolarfrakturen werden sowohl konservativ als auch operativ behandelt [136]. Ziel ist hierbei eine optimale Frakturheilung. Außerdem ist eine posttraumatische Arthrose zu vermeiden oder zumindest zu verzögern. Dafür ist eine anatomische Stellung mit rigider Fixation essentiell. Für die operative Fixation von medialen Malleolarfrakturen wird zwischen der Schrauben- und der Plattenfixation unterschieden. Dabei wird allein für die Schraubenfixation eine Vielzahl an Möglichkeiten beschrieben. Dazu gehören die Schraubenlänge, Voll- oder Teilgewinde [137] wie auch uni- oder bikortikale Fixationen. Bei der bikortikalen Osteosynthese werden die Schrauben durch die mediale Tibia wie auch den lateralen Kortex der Tibia eingedreht. Biomechanische Studien zeigen, dass eine bikortikale Fixation der unikortikalen Schraubenfixation biomechanisch überlegen ist und signifikant höhere Ausreißkräfte und Drehkräfte hat [99]. Dieses wurde bei weiteren biomechanischen und klinischen Studien bestätigt und zeigt gute klinische Resultate bei risikobehafteten Patienten [100], [101]. Vergleichbare klinische Studien bezüglich der Komplikationsrate für unikortikale Schraubenfixationen konnten nicht gefunden werden, weshalb wir eine retrospektive Studie am NYP / CUMC für den Zeitraum zwischen Januar 2011 und Dezember 2017 durchführten.

Insgesamt wurden 203 Patienten mit einer medialen Malleolarfraktur und einer durchschnittlichen Follow-up Zeit von 11,4 Monaten (zwischen 3 und 57 Monaten) in die Studie eingeschlossen. Ein Großteil der Patienten wies eine Bimalleolarfraktur (55,2 %) mit einer medialen Malleolarfraktur Herscovici Typ B (40,4 %) auf. Das Durchschnittsalter war 50,3 Jahre (zwischen 17 und 95 Jahren); 71 Patienten waren älter als 60 Jahre und 36 sogar älter als 70 Jahre. Zudem wurden bei 32 Patienten Komorbiditäten und prädisponierende Faktoren gefunden, inklusive Diabetes mellitus, Lupus, Hepatitis C, Immunsuppression durch Medikamente sowie Rauchen.

Die Schraubenlänge variierte von 40 mm bis 50 mm mit einem Durchmesser von 2,4 mm bis 4,0 mm. Die am häufigsten verwendeten Schrauben hatten 2,7 mm und 3,5 mm im Durchmesser. Insgesamt wurden 6 Komplikationen gefunden, welche unmittelbar mit der Versorgung der medialen Malleolarfraktur in Zusammenhang standen. Dazu gehörten zwei Pseudarthrosen sowie eine verzögerte Knochenheilung, die mittels Knochenwachstums-Stimulator austherapiert wurde. Dies entspricht einer Frakturheilungsrate von 99,0 %. Des Weiteren fanden wir zwei Fehlstellungen und eine Schraubendislokation (0,5 %). Beide Patienten mit einer Pseudarthrose, der Patient mit der Schraubendislokation wie auch einer der beiden Patienten mit einer Fehlstellung waren asymptomatisch. Der andere Patient entwickelte eine posttraumatische Arthrose. Weitere Komplikationen waren 6 mediale Wundkomplikationen und 21 sonstige Komplikationen, welche nicht mit der Schraubenosteosynthese des medialen Malleolus



korrelierten. Eine Korrelation zu dem Frakturtyp nach Herscovici, dem Alter oder Komorbiditäten konnte nicht gefunden werden.

Diese Studie zeigt, dass obwohl eine bikortikale Schraubenosteosynthese des medialen Malleolus biomechanisch eine höhere Stabilität aufweist, die Pseudarthrose-Rate (1,0 %) bei unikortikaler Versorgung gering ist. Daher ist es fraglich, ob diese mittels bikortikaler Versorgung hätte vermindert werden können.

Bäcker HC, Königsberg MW, Freibott CE, Rosenwasser MP, Greisberg JK, Vosseller JT  
Radiographic Results of Unicortical Medial Malleolar Fracture Fixation  
Foot Ankle Int. 2018 Dec 20:1071100718816692. <https://doi.org/10.1177/1071100718816692>









## *2.4 Plattenosteosynthese von Fibulafrakturen und ihre Komplikationsrate (Arbeit 4)*

Ähnlich wie bei der Komplikationsrate für mediale Malleolarfrakturen in Abschnitt 2.3 ist die Studienlage in der Therapie bezüglich Fibulafrakturen mittels Plattenosteosynthese begrenzt und basiert auf Fallstudien mit geringen Kohorten von unter 200 Patienten. Deshalb wollten wir in einer weiteren Studie bei instabilen Sprunggelenksfrakturen, zum Beispiel von isolierten Supinations-Außenrotationsverletzungen Typ IV, Bimalleolarfrakturen oder Trimalleolarfrakturen die spezifischen und allgemeinen Komplikationen untersuchen.

Hierfür wurden alle Patienten zwischen 2011 und 2017 retrospektiv einbezogen, die an einer Sprunggelenksverletzung mit operationspflichtiger Fibulafraktur litten. Insgesamt wurden 461 Patienten betrachtet, für die die Komplikationen und Frakturheilung basierend auf den Aufzeichnungen und den postoperativen Röntgenbildern evaluiert wurden. 403 Patienten wurden mit 404 Fibulafrakturen identifiziert, die mittels konventioneller Drittelrohrplattenosteosynthese stabilisiert wurden. Das durchschnittliche Follow-up lag bei 11,6 Monaten (von 1,1 bis 73,9 Monate). Primäre Analysegrundlagen waren die radiographisch gesicherte Knochenheilung, demographische Informationen, Komplikationen wie Pseudarthrosen, verzögerte Wund- und Knochenheilung, Fehlstellungen, Implantatversagen und allfällige notwendige Revisionseingriffe. Weiterhin erfasst wurden die allgemeinen Komplikationen wie tiefe Beinvenenthrombosen, Infektionen und Neuropraxien.

Es wurden 78 Komplikationen bei 404 Eingriffen ( $n=78/404$ ; 19,3 %) identifiziert. Am häufigsten wurden Wundheilungsstörungen mit 8,4 % ( $n=34/404$ ) beobachtet, gefolgt von Neuropraxien in 4,0 % ( $n=16/404$ ). Weitere Komplikationen waren tiefe Beinvenenthrombosen in 0,7 % ( $n=3/404$  %), Implantat-assoziierten Infektion (1,0 %;  $n=4/404$ ) und in einem Fall eine Osteomyelitis (0,2 %;  $n=1/404$ ).

Die Knochenheilung war bei 14 Patienten kompromittiert. Hierbei wurden Pseudarthrosen in 0,5 % ( $n=2/404$ ), eine verzögerte Knochenheilung in 0,7 % ( $n=3/404$ ) und Fehlstellungen in 2,2 % ( $n=9/404$ ) beobachtet. Einer der 9 Patienten mit Knochenkonsolidierung in Fehlstellung entwickelte eine posttraumatische Arthrose. Zwei Patienten hatten schwerwiegende Komorbiditäten: Systemischer Lupus erythematodes und Diabetes mellitus. Bei weiteren 6 Patienten (1,5 %;  $n=6/404$ ), die radiographisch postoperativ eine anatomische Reposition und Stabilisation der Fibulafraktur zeigten, entwickelte sich eine posttraumatische Arthrose. Auf Grund von Komplikationen waren Revisionseingriffe bei 7 von 78 Patienten notwendig (9,0 %;  $n=7/78$ ).

Unsere Studie zeigte eine geringe operationsspezifische Komplikationsrate von 19.3 % mit guter Knochenheilung in 96,5 %. Zudem war eine Implantatentfernung in nur einem von acht Fällen auf Grund von Beschwerden erforderlich.

Bäcker HC, Greisberg JK, Vosseller JT  
Fibular Plate Fixation and Correlated Short-term complications  
Foot Ankle Spec. Sept 2019 <https://doi.org/10.1177/1938640019873539>













## *2.5 Entwicklung der intramedullären Osteosynthese bei Fibulafrakturversorgung - eine gute Alternative zur Plattenosteosynthese (Arbeit 5)*

Zur Behandlung von Fibulafrakturen hat neben der Plattenosteosynthese die Marknagel-Osteosynthese in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Laut Literatur wurde der erste Fibulamarknagel von Stöhrer et al. in 1972 beschrieben. Dieser ermöglichte eine minimal invasive perkutane Technik für die Implantation und Reposition [138]. Seitdem wurde eine Vielzahl von Studien zu dieser Thematik veröffentlicht. So wurden fast 2.000 Treffer im Internet – Publikationen unter den Suchbegriffen ‘fibula nail’, ‘fibular nail’, ‘fibula rod’, ‘fibular rod’, ‘intramedullary fibula’ oder ‘intramedullary fibular’ – für eine Behandlung von Fibulafrakturen angezeigt. Darunter waren 30 Studien zur intramedullären Fibulaosteosynthese. Diese beinhalten die Marknagelfixation und untersuchten die Komplikationen entweder basierend auf einer prospektiven und / oder retrospektiven Studie zwischen 1986 und 2018. In dem genannten Zeitraum wurden insgesamt 1.116 Patienten untersucht und 11 unterschiedliche Implantate (zum Beispiel Acumed Nagel, EPIFISA, IP-XS-Nagel, ANK etc.) angewendet. In sechs Artikeln wurde der Fibulanagel mit einer konventionellen Plattenosteosynthese verglichen.

Die Marknägel wurden in drei verschiedene Kategorien eingeteilt: (1) nicht geblockter, longitudinaler Nagel, (2) Implantate, die einer konventionellen Kortikalisschraube ähneln und (3) traditionelle verriegelnde Nägel. Insgesamt zeigte sich eine gute Heilungsrate mit guter radiologischer Reposition. Die Komplikationsrate war niedrig und variierte abhängig vom Implantat.

Einige Fragen konnten allerdings durch die Studie nicht beantwortet werden: Welches Implantat ist kostengünstiger, zumal eine Implantatentfernung mit Marknägeln seltener durchgeführt werden muss als bei Plattenosteosynthesen. Des Weiteren ist unklar, ob Patienten nach minimalinvasiver intramedullärer Fixation weniger Schmerzen haben als bei offener Reposition und Fixation aufgrund eines geringeren Weichteilschadens. Letztlich ist bei Einführung in den klinischen Alltag die Lernkurve zu bestimmen.

Neuere Entwicklungen, besonders die Auswirkungen von Änderungen im Design von einfachen Nägeln / Pins zu kurvierten Implantaten in den vergangenen Jahren, die sich der Form der Fibula anpassen, oder die Möglichkeit, zusätzlich Syndesmosenschrauben einzubringen, wurden nicht diskutiert.

Zusammenfassend ist festzuhalten: In der Studie konnte nachgewiesen werden, dass neue intramedulläre Implantate eine gute, sichere, praktikable Behandlungsalternative darstellen. Trotz begrenzter Literatur zeigten die Daten gute klinische Ergebnisse mit einer geringen Komplikationsrate. Für eine Anwendung in der klinischen Praxis werden jedoch weitere Studien mit größeren Kohorten über einen längeren Zeitraum empfohlen.

Bäcker HC, Vosseller JT  
Fibular Nail Fixation: Topical Review  
Foot Ankle Int. 2019 Sept; <https://doi.org/10.1177/1071100719864593>

















## *2.6 Ausmaß von degenerativen Sehnenveränderungen bei Achillessehnenruptur (Arbeit 6)*

Die Achillessehne ist die kräftigste Sehne des Körpers. Bis heute ist die Ätiologie von Achillessehnenrupturen und den korrelierenden morphologischen Degenerationen in den verbleibenden Sehnen unklar. Rupturen können bei akuter Belastung oder bei chronisch degenerativen Veränderungen auftreten. Unser Interesse war herauszufinden, inwiefern degenerative Veränderungen ebenfalls in der akuten Achillessehnenruptur zu finden sind und ob sich diese nur auf das Drittel der Ruptur beziehen oder sich auf die komplette Sehne ausbreiten.

Für die Studie wurden alle Patienten mit Achillessehnenruptur, die eine MRT-Untersuchung erhielten, retrospektiv eingeschlossen. Die Achillessehne, die von dem muskulotendinösen Übergang bis zum kalkanearen Ansatz verläuft, wurde dafür in drei gleichlange Drittel – proximales, mittleres und distales Drittel – eingeteilt. In Ergänzung zu den demographischen Unterschieden wurden die MRT-Bilder erneut von einem unabhängigen muskuloskeletalen Radiologen evaluiert. Die Lokalisation der Ruptur, Zeichen von Tendinitis oder sonstigen Läsionen wie Risse der verbleibenden zwei Drittel sowie der maximale anterior-posteriore Durchmesser in den Segmenten wurden ausgewertet.

Vierundfünfzig Patienten, überwiegend Männer (75,6 %), wurden in die Studie einbezogen. Das Durchschnittsalter war  $43,7 \pm 14,5$  Jahre und die durchschnittliche Achillessehnenlänge lag bei  $9,93 \pm 2,18$  cm. Die Ruptur trat vor allem bei  $5,86$  cm gerechnet ab dem Ansatz des Kalkaneus auf. Die Rupturen wurden am häufigsten im proximalen (44,4 %) Drittel, gefolgt vom mittleren (42,2 %) und distalen Drittel (13,3 %), beobachtet. Patienten mit einer proximalen Ruptur waren im Durchschnitt um  $9,6$  Jahre jünger ( $38,0 \pm 13,6$ ) als diejenigen mit einer Ruptur im mittleren ( $47,6 \pm 15,3$ ) oder distalen Drittel ( $50,0 \pm 8,3$ ) ( $p \leq 0,050$ ). In 89 der 90 Fälle im verbleibenden Drittel (98,9 %) zeigten sich Zeichen einer Degeneration mit Tendinitis und/oder sekundärer Läsion (26,7 %). Zudem hatten 87 der 90 verbleibenden Achillessehnedrittel (96,7 %) einen anterior-posterioren Durchmesser von mehr als 6 mm. (Dieser Text ist teilweise aus der oben genannten Publikation entnommen und wurde durch den Autor übersetzt).

Die Studie zeigt, dass anhand von MRT-Auswertungen degenerative Veränderungen sich nicht nur auf die Lokalisation der Ruptur beschränken, sondern auch andere Anteile der Achillessehne betreffen. Aufgrund der Resultate sollte überlegt werden, ob bei Patienten mit vermehrt

degenerativen Veränderungen anstatt einer Direktnaht-Versorgung andere Techniken, wie zum Beispiel distale Anker Fixation im Kalkaneus, bevorzugt werden sollten.

Bäcker HC, Wong TT, Vosseller JT

MRI Assessment of Degeneration of the Tendon in Achilles Tendon Ruptures

Foot Ankle Int. 2019 Apr 22:1071100719845016. <https://doi.org/10.1177/1071100719845016>













## *2.7 Kraftmessung der Achillessehne nach Ruhigstellung und Verletzung (Arbeit 7)*

Nach einer erfolgreichen Behandlung von Sprunggelenksverletzungen, wie zum Beispiel Frakturen oder Achillessehnenrupturen, kommt die Frage auf, wann die Patienten wieder zurück zur Normalität kehren können und damit auch zum Sport. Das Risiko einer erneuten Verletzung ist hierbei möglichst gering zu halten. Deshalb sollte eine Kraftmessung der Muskulatur wie auch eine Drehmomentmessung des Gelenks erfolgen. Diese helfen zu entscheiden, ob weitere physiotherapeutische Maßnahmen notwendig sind oder bereits die volle Belastung wieder möglich ist. Neben der Kraftmessung stehen verschiedene Behandlungs- wie auch postoperative Rehabilitationsschemata zur Verfügung, welche vor allem auf den Erfahrungen von Physiotherapeuten und Ärzten basieren [139].

Zur Beurteilung der klinischen Resultate wurde eine Vielzahl von unterschiedlichen Fragebögen entwickelt und beschrieben. Dazu zählen zum Beispiel der Hannover-Achilles-Score, Thermann-Score, modifizierter Thermann-Score, Leppilahti-Score, modifizierter Leppilahti-Score, Rupp-Achilles-Tendon-Score, modifizierter Achilles-Tendon-Total-Rupture-Score (ATRS), Mandelbaum und Pavanini-Scale und der Achilles-Tendon-Evaluation-Score [140]. Neben der subjektiven Evaluation der klinischen Resultate gibt es objektive, isolierte Kraft- und Drehmoment-Messverfahren, welche unter anderem mit Hilfe von Dynamometern erfolgen. Auch hier ist die Literatur vielfältig, und es gibt kein einheitliches Messverfahren, was den Untersuchenden – Ärzten, Physiotherapeuten, Sportwissenschaftlern – es schwer bis unmöglich macht, Daten exakt auszuwerten, einheitlich zu interpretieren und Algorithmen zu erstellen. Um die Vielzahl an Messverfahren einzuordnen haben wir eine ausführliche Auswertung der vorhandenen Literatur durchgeführt.

Unter insgesamt 2.758 Artikeln, welche zwischen 1947 und 2018 unter ‚Achilles tendon rupture‘ und ‚Achilles tendon strength measurement‘ publiziert wurden, fanden wir 100 Publikationen, die eine objektive Messmethode beschreiben. Die Messverfahren wurden nach der Verwendung eines Messgerätes (z.B. Dynamometer), mittels klinischer Untersuchung (Zehenspitzenstand-Test) und Ganganalyse eingeteilt. Von den 100 Publikationen wurde in 78 Fällen ein Dynamometer verwendet. In 14 Fällen erfolgte eine klinische Untersuchung mittels eines Belastungstests und in 8 Fällen eine Ganganalyse. Bei den Untersuchungen mittels Dynamometer wurden weitestgehend vergleichbare Apparaturen und Messgeräte (zum Beispiel Cybex or Biodex) (n=60) verwendet. In den restlichen 18 Fällen wurden andere Messgeräte, vor allem selbst konzipierte, benutzt. In der Gruppe der Dauerbelastungstests wurde am häufigsten der Einbeinzehenspitzenstand (‚single heel rise‘) angewendet, gefolgt von der explosiven Schnellkraft. Letztlich wurden in der Ganganalysen Gruppe ebenfalls unterschiedliche Messverfahren

angewendet, welche entweder den Druck oder die Bewegung zur Bestimmung der kinetischen und kinematischen Energie verwenden.

Auch variierten die Messtypen zwischen isokinetischer (n=65) und isometrischer Kraft (n=29) wie auch von Messgeschwindigkeit und Anzahl der Wiederholungen [141], [142], [143]. Weitere Unterschiede fanden sich in der Patientenpositionierung während der Messung (z.B. mit gestrecktem, gebeugtem Knie in unterschiedlichen Graden oder sitzender versus liegender oder stehender Position) [78], [144], [145], [146], [147, 148], [149], [150], [151], [152], [153].

Die Aufwärmphase reichte von gar nicht bis zu 30 Minuten vor Messungen [154], [155], [156, 157], [143], [158], [159], [160]. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Maßeinheiten (Newtonmeter (Nm), Foot-pound oder Prozent im Vergleich zur Gegenseite) verwendet. In der Ganganalysen-Gruppe wurden am häufigsten die Zeit in Millisekunden oder das Moment in Newtonmeter (Nm) pro kg angegeben [154, 161].

Eines der besten und unserer Ansicht nach favorisierten Verfahren ist der Dauerbelastungstest anhand von Fersenhebungen im Einbeinstand, d.h. der Einbeinzeehenspitzenstand („single heel rise“) Test, wobei die Übungen mit einem Metronom (in der Literatur werden 30 Fersenhebungen pro Minute vorgeschlagen) erfolgen. Anschließend konnte ein symmetrischer Extremitäten-Index im Vergleich zur Gegenseite berechnet werden [162]. Dieses Verfahren ermöglicht es dem Untersucher ohne großen Aufwand und ohne Geräte eine Kraftmessung vorzunehmen. Zudem erlaubt der symmetrische Extremitäten-Index die individuelle Leistung abzubilden und mit anderen Patienten zu vergleichen.

Unsere Literatursuche zeigte eine Vielzahl von Messmethoden in unterschiedlichen Positionen wie auch Ergebnisinterpretationen. Auf Grund der Variabilität sind die Aussagen und Interpretationsmöglichkeiten in Klinik wie auch Wissenschaft eingeschränkt. Daher sollten in Zukunft eine einheitliche Messmethode und ein einheitlicher Algorithmus gefunden werden, um bessere Vergleiche und optimale Behandlungserfolge zu erzielen.

Bäcker HC, Yenchack A, Trofa D, Vosseller JT  
Strength Measurement After Achilles Tendon Repair.  
Foot Ankle Spec. 2018 Dec 17:1938640018819779. <https://doi.org/10.1177/1938640018819779>





















## **3 Diskussion**

### **3.1 Behandlungskonzepte und Komplikationen**

Zu den Verletzungen des oberen Sprunggelenks gehören Frakturen und Weichteilschäden wie ligamentäre und muskuläre Verletzungen. Ziel der Behandlung ist die Herstellung eines stabilen Gelenks als Voraussetzung für ein gutes funktionelles Ergebnis und die Vermeidung negativer Langzeitfolgen.

Bei Frakturen ist eine möglichst zeitnahe Versorgung, sobald die Weichteile dies zulassen, innerhalb von 2 Wochen nach dem Trauma durchzuführen. Anschließend ist bereits ein guter Kallus entstanden, so dass die Operation dadurch erschwert wird. Um das System zu vereinfachen und dem Patienten wie auch dem Operateur die Möglichkeit zu geben, sich auf die Operation vorzubereiten, wird in den USA immer häufiger eine geplante, elektive Operation innerhalb des ambulanten Rahmens präferiert. Dies ermöglicht neben der Vorbereitung des Patienten sowie der Operation auch die Erstellung und Planung des postoperativen Prozedere inklusive einer möglichen Rehabilitation einschließlich der Suche nach einer temporären barrierefreien Unterkunft. Ausnahmen bilden hierbei die Luxationsfrakturen, welche sich nicht geschlossen reponieren oder im Gips ruhigstellen lassen.

Die Ausversorgung erfolgt als verzögerte Operation nach wenigen Tagen bis hin zu Wochen, um den Rückgang der Weichteilschwellung zu erreichen bzw. den Patienten zu optimieren. Gemäß Literatur wird ein breites Spektrum unterschiedlicher Vorgehensweisen beschrieben, welche unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf Komplikationsraten wie auch die Berücksichtigung verschiedener Komorbiditäten darlegen [87, 163-166]. In unserer Studie wurde der Cut-off auf 14 Tage nach stattgehabtem Unfall gesetzt.

Auch wenn unsere Studie keine statistischen Signifikanzen zwischen der frühen bzw. verzögerten Versorgung hinsichtlich der Infektrate und der postoperativen Hospitalisation aufwies, konnten vermehrt oberflächliche Wundheilungsstörungen bei einer Versorgung nach 14 Tagen beobachtet werden. Eine Erklärung dafür könnte die fehlende Kooperation des Patienten beim präoperativen Hochlagern sein, die zu Verzögerungen bei der Operation führte [164].

In anderen Studien variierte der Cut-off zwischen akut (innerhalb von 24-48 Stunden) und chronisch (eine Woche). Schepers et al. zum Beispiel empfehlen eine unmittelbare Versorgung innerhalb der ersten 24 Stunden [87]. Auch wurden signifikante Unterschiede in der Wundheilung beschrieben [87, 167-169]. Darüber hinaus zeigte sich in einer anderen Studie ein signifikanter Anstieg der Infektrate bei einer Versorgung nach 6 Tagen [165], [134].

Bei Betrachtung der funktionalen Ergebnisse zeigten sich in unserer Studie nach 5 Jahren keine Unterschiede zwischen früher und verzögerter Versorgung [170, 171]. Hierbei wurden der Olerud-



Molander-Ankle-Score (OMAS) und Short Form 12 (SF-12) untersucht und mit den Ergebnissen von Schepers et al. verglichen. Auch wenn diese einen signifikant besseren OMAS bei einer Versorgung innerhalb der ersten 24 Stunden beschreiben, haben wir hingegen beim AOFAS keinen signifikanten Unterschied festgestellt [87], [171].

Trotz der vergleichbaren Komplikationsrate und funktionellen Ergebnissen empfehlen wir die zeitnahe Versorgung innerhalb der ersten 14 Tage. Jedoch für den Fall von polytraumatisierter Patienten, offener Frakturen oder bei deutlicher Schwellung kann eine Verzögerung erfolgen, um das individuelle Risiko zu reduzieren.

Im Weiteren untersuchten wir, welchen Einfluss der Frakturtyp (mit oder ohne Vorliegen einer Luxationsfraktur) auf die funktionalen Ergebnisse nach Sprunggelenksfrakturversorgung hat, um die bisher beschriebenen Ergebnisse zu überprüfen. In unsere Studie wurden Patienten mit einer Luxationsfraktur und damit einer Inkongruenz der tibiotalaren Gelenkflächen (ca. 33,3 %) einbezogen.

Im Vergleich zu anderen Studien konnten wir keine vermehrten Komplikationen (bei Vorliegen einer Luxation 6,0 % versus ohne Luxation 5,9 %) feststellen, trotz einer vermehrten Verwendung der externen Fixation in unserer Arbeit, für die in der Literatur auf ein erhöhtes Risiko für Wundinfektionen hingewiesen wird [134]. Sculco et al. zum Beispiel beschreiben eine oberflächliche Infektionsrate von 17,0 % bei Luxationsfrakturen, verglichen mit 11,0 % in der Kontrollgruppe [172]. Selbst eine signifikant erhöhte Rate an Patienten mit Diabetes mellitus in der Luxationsgruppe hatte in unserer Studie keinen statistischen Einfluss auf die Infektrate, trotz anders lautender Ergebnisse in der Literatur [134], [173-175].

Auch konnte kein signifikanter Unterschied im funktionellen Ergebnis basierend auf dem FAOS festgestellt werden. Allerdings war eine Tendenz zu schlechteren Ergebnissen sichtbar. Zudem beobachteten wir einen signifikant höheren Wert für die Schmerz-Subskala des FAOS in der Luxationsgruppe im Gegensatz zu anderen Studien mit signifikant niedrigeren Werten für die Luxation [172]. Eine mögliche Ursache für die höheren FAOS-Werte kann die Verkürzung von Weichteilen (wie der Muskulatur und der Ligamente oder der Gelenkkapsel) sein, während als Gründe für niedrigere Werte des FAOS die Qualität der Reposition oder die Komplexität der Fraktur in Betracht kommen können [176]. Unserer Ansicht nach haben das Vorliegen einer Luxationsfraktur, der Frakturtyp und die Komplexität des Bruchs den größten Einfluss auf den Knorpelschaden und damit die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose. [172, 176, 177].

Neben dem Zeitraum zwischen Unfall und der operativen Stabilisierung und dem vorliegenden Frakturtyp ist die eigentliche operative Versorgung essentiell. Bei Sprunggelenksfrakturen, die neben der Fibula auch

eine Stabilisierung mittels Schrauben des medialen Malleolus benötigen, stellt sich die Frage der Stabilisationstechnik: uni- versus bikortikale Schraubenosteosynthese [136].

Unsere Studie wies bei der Verwendung von unikortikalen Schrauben mit vollem Gewinde nur eine geringe Komplikationsrate auf. Auf Grund der guten und schnellen Heilungstendenz und einer knöchernen Komplikationsrate von nur 1 % erscheint eine unikortikale Schraubenosteosynthese ausreichend, auch wenn in der Literatur biomechanisch wie auch klinisch eine signifikant erhöhte Stabilität bei bikortikaler Fixation bzw. anderer Fixationstechniken verglichen mit einer unikortikalen Fixation beschrieben wird [99], [100], [178]. Ausnahmen können zum Beispiel vertikale Stressfrakturen oder Supination-Adduktions-Verletzungen darstellen [179, 180]. Dagegen ist bei Rotationsverletzungen eine temporäre Stabilisierung notwendig, bis die Verknöcherung und damit eine Heilung gegeben ist. Neben der Länge der Schrauben und der bikortikalen Fixationstechnik ist der Schraubentyp entscheidend – vollständig oder nur partial mit Gewinde. King et al. beschrieben eine Komplikationsrate von 8,7 % für die bikortikale Schraubenfixation inklusive einer Pseudarthrose, einer Ausheilung in Fehlstellung und zweier schmerzhafter Implantatkonflikte. Aufgrund dessen wurde empfohlen, eine bikortikale Fixation vor allem bei Hochrisiko-Patienten wie zum Beispiel älteren Patienten durchzuführen [101]. Bezüglich der Schraubenlänge zeigten Parker et al. eine optimale Stabilisierung mit Schrauben von 45 mm und vollem Gewinde, verglichen mit 30 mm und halben Gewinde, gefolgt von 45 mm mit halben Gewinde ( $p = 0,04$ , respektive  $p < 0,001$ ) [137].

Ähnlich der begrenzten Literatur in Bezug auf die Stabilisierung der medialen Malleolarfraktur ist wenig über die Komplikationsrate der Fibula-Plattenosteosynthese selbst in großen Kohorten bekannt. Die bislang publizierten Studien fokussierten sich vor allem auf Vergleiche zwischen verschiedenen Implantaten, wie zum Beispiel einem Fibula-Marknagel oder einer winkelstabilen Platte mit der konventionellen Plattenosteosynthese (Drittelrohrplatte). Der Großteil der Studien untersuchte dabei 200 Patienten oder weniger und beschrieb eine Komplikationsrate zwischen 12 % und 56 % [181], [182], [183], [184], [185], [186]. Die Literatur variiert in Bezug auf die Komplikationsrate der winkelstabilen Plattenosteosynthese, was mitunter auch in den eher kleinen Kohorten begründet liegen mag [187], [184]. Die größte Studie untersuchte 378 Frakturen, wobei in 36 % Komplikationen auftraten und 20 % eine Revisionsoperation – vor allem Sprunggelenksarthroskopien – benötigten [188].

Aufgrund dieser eingeschränkten Themenschwerpunkte und begrenzten Datenlage haben wir mit unserer Studie eine Validierung der Ergebnisse anhand vor allem einer größeren Kohorte angestrebt mit folgenden Ergebnissen. Basierend auf 404 Fibulafrakturen, von denen 41,0 % aller Patienten an Komorbiditäten litten, zeigte unsere Studie mit 19,3 % der Fälle eine geringe Komplikationsrate vor allem in der kurzfristigen Betrachtung bis zu einem Jahr. In 1,7 % traten schwerwiegende Komplikationen auf. In 0,5 % wurde eine Pseudarthrose beobachtet.

Neben der Wundinfektrate mit insgesamt 8,4 % zeigte sich die Neuropraxie (4,0 %) als zweithäufigste Komplikation, anders als in der Literatur beschrieben. Dort variiert die Inzidenz und wird mit bis zu 21,0 % nach Fibulafraktur-Stabilisation angegeben [135], [187], [189]. Eine weitere Diskrepanz zur Literatur besteht bezüglich der Rate an Implantatentfernungen, die mit bis zu 45 % beschrieben wird [190]. Die größte Studie hingegen, die die Inzidenz von Implantatentfernungen untersuchte, beschrieb eine Materialentfernung in 12,5 % (n=185/1.482), was mit der ermittelten Rate in unserer Studie von 13,4 % in etwa übereinstimmt [191].

Im weiteren analysierten wir Achillessehnenrupturen, welche zu den häufigsten Verletzungen gehören. Diese können sowohl akut als auch chronisch durch Degeneration auftreten. Bei einer akuten Achillessehnenruptur ging man bis dato davon aus, dass diese nur auf eine Lokalisation begrenzt ist und die verbleibende Sehne keine sonstigen Degenerationen aufweist. Wir konnten jedoch in unserer Studie zeigen, dass ebenfalls degenerative Veränderungen und sekundäre Rupturen in allen untersuchten Fällen (100 %) vorlagen. Hierfür war es zum einen notwendig, Signalalterationen im MRT, die von der Primärruptur ausgehen, auszuschließen. Dafür wurden MRT-Sequenzen ohne Kontrastmittel verwendet. Zum anderen musste berücksichtigt werden, dass die Signalintensität bei Rupturen deutlich dichter ist als bei einer degenerativen Tendinopathie. Bei sekundären Rupturen, die sich ähnlich den Primärrupturen durch Flüssigkeitseinlagerungen zeigen, konnte zwischen den beiden Rupturen eine intakte Sehnenbrücke beobachtet werden [192]. Eine Verdickung der Achillessehne im MRT äußerte sich durch Sehnenretraktion und eine Anreicherung von Ödemen.

Auch wenn in der bisherigen Literatur bereits beschrieben wird, dass eine Sehnendegeneration zu einer Achillessehnenruptur führen kann, fehlen Angaben zu der Inzidenz. Als Beispiel dafür seien die Studien von Kannus und Jozsa genannt, die histologisch Sehnen untersuchten und in den meisten Fällen eine degenerative Veränderung fanden [193]. In einer anderen Studie wird aufgezeigt, dass die Achillessehne eine deutlich vermehrte Degeneration bei gerissenen Sehnen im Vergleich zur normalen, gesunden Sehne oder operativ behandelten symptomatischen Tendinopathien aufwies [194].

Basierend auf Kadaverstudien wird empfohlen, bei der operativen Versorgung von Achillessehnenrupturen die Vorspannung und Länge der Achillessehne wiederherzustellen, um das Risiko einer Re-Ruptur möglichst gering zu halten [195], [196]. Denn eine mangelnde Wiederherstellung der Vorspannung und Sehnenlänge kann zu einem Verlust der vollständigen Plantarflexionskraft führen [197], [198], [199]. Bezüglich der Elastizität der Sehne ist nach Kessler zu berücksichtigen, dass sich eine Elongation der Sehnenstümpfe nach Achillessehnennaht, vor allem zwischen den Wochen 6, 12 und bis zur 26. Woche zeigt. Danach konnten keine weiteren Elongationen beobachtet werden [200].

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Auf Grund der degenerativen Veränderungen der kompletten Achillessehne kann durch eine einfache Sehnennaht nicht selten die anatomische Länge und Vorspannung wiederhergestellt werden. Aber es sollte auch berücksichtigt werden, dass in den bereits publizierten Studien vor allem die Naht selbst als Ursache der Re-Ruptur und nicht die Degeneration der restlichen Anteile gesehen wird [201], [202, 203]. Basierend auf unserer Studie, sollte, um eine Elongation beider Enden und eine möglichst stabile Situation zu erzeugen, eine knöcherne Fixation distal über dem Kalkaneus in Erwägung gezogen werden [204].

### **3.2 Neue Behandlungskonzepte und Entwicklungen bei Implantaten**

Alternativ zur Plattenosteosynthese werden Marknägel bei Fibulafrakturen aktuell wieder diskutiert. Aufbauend auf den vorhandenen Studien analysierten wir in unserer Arbeit die Verwendung von Marknägeln im Zeitablauf, ihre Besonderheiten sowie die Behandlungsergebnisse als Grundlage für Empfehlungen und Weiterentwicklungen. Ursprünglich wurde das Konzept einer Marknagelosteosynthese bereits im 16. Jahrhundert beschrieben. In der Neuzeit war es vor allem Küntscher, der einen Nagel zur Behandlung von Frakturen der Diaphyse entwickelte [205], [206], [207]. Die Versorgung einer Fibulafraktur mittels Inyo Nagel wurden erstmals 1972 und 1986 beschrieben [138], [181]. Dabei handelte es sich um einen dreieckigen Nagel in V-Form, welcher nicht statisch verriegelt werden konnte. In der Theorie wurde die Nagelkonfiguration der Fibulakontur angepasst und war vor allem für distale Frakturen vorgesehen. Die einbezogenen Studien zeigten gute klinische Resultate mit allerdings eingeschränkter anatomischer Reposition. Im Zeitverlauf wurden der Rush-Nagel [208], [209] der Ender-Nagel [210] oder der Knowles-Pin [211] entwickelt, die sich von der Form her unterscheiden. So haben z.B. die Knowles-Pins ein halbes Gewinde von 4 mm Durchmesser und einen rechteckigen Kopf. Der Durchmesser der Spitze beträgt 3,2 mm, wodurch eine axiale Kompression auf die Fraktur ausgeübt werden kann [211].

Marknägel ermöglichen eine bessere axiale Stabilität. Zudem können sie zur Schienung von diaphysären Frakturen mit einer nur eingeschränkten Stabilität in Rotation und axialer Translation verwendet werden. Von Vorteil ist, dass aufgrund einer Vielzahl von verfügbaren Durchmessern das Aufbohren des Markkanals nicht notwendig ist.

Später wurden der Metaizeau- und der Epiphysen-Fibulanagel entwickelt und beschrieben. Dabei besteht der Nagelkopf aus einem Gewinde [212]. Der Nagel hat einen Durchmesser von 5 mm und ist in vier verschiedenen Längen erhältlich. Im Vergleich zur Plattenosteosynthese zeigten sich hierfür signifikant

geringere Komplikationsraten [213]. Ein weiterer Marknagel ist der ANK Nagel. Dieser ist leicht im distalen Bereich gebogen und mit einem Loch versehen, um bei Bedarf eine Syndesmosenschraube einzubringen. Auch wenn die Knochenheilungsrate bei 100 % lag, variierte die Reposition: 73 % waren gut, 22 % mittelmäßig und 5 % schlecht reponiert; die Komplikationsrate wurde mit 10,9 % angegeben [214].

Die neusten Nägel IP-XS Nagel [215], Biomet SST Nagel [209], [216] und Acumed Nagel [182, 186], [217], [218], [219], [220], [221], [222] haben Löcher für eine multivariable Stabilisierung. Während der IP-XS Nagel 11 Löcher und einen Durchmesser von 4,5 mm hat und von gerader Kontur ist, sind der Biomet SST und Acumed Nagel der anatomischen Fibulaform angepasst. Auch hier kann eine Syndesmosenschraube eingebracht werden.

Heutzutage wird der Acumed Nagel am häufigsten verwendet. Er wurde in 8 von insgesamt 22 einbezogenen Studien untersucht [182, 186], [217], [218], [219], [220], [221], [222]. Allerdings hat ein Großteil der Studien ein Level 4-Evidenzniveau mit nur geringen Fallzahlen. Die Knochenheilungsrate betrug in den meisten Studien 100 %, während zwei Autoren diese mit 97,4 % respektive 97,8 % angaben [221], [223]. In zwei weiteren Studien (insgesamt 54 Patienten) wurde zudem die Qualität der Reposition bestimmt. Hier zeigte sich eine gute Reposition bei 46 Patienten, jedoch auch ein mittelmäßiges und schlechtes Repositionsergebnis in 7 Fällen [220], [221]. Insgesamt war die Komplikationsrate bei Vergleichsstudien in der Marknagelosteosynthese-Gruppe besser als in der Gruppe mit Plattenosteosynthese. Dennoch gehört die Marknagelosteosynthese von Fibulafrakturen nicht zu den Standardverfahren. Es bedarf deshalb weiterer Studien besonders im Hinblick auf eine regelmäßige Anwendung im klinischen Alltag.

### **3.3 Postoperative Rehabilitation**

Nach Ausbehandlung und Heilung von Sprunggelenksverletzungen wie Bandrupturen, Sehnen-, Muskel- oder Knochenverletzungen stellt sich die Frage, wann Patienten wieder ihre sportlichen Aktivitäten uneingeschränkt aufnehmen können. Hierfür ist eine Untersuchung der Muskelkraft der Wade bzw. des Drehmoments des Sprunggelenks hilfreich. Es existieren eine Vielzahl von unterschiedlichen Untersuchungsmethoden mit verschiedenen Messtechniken. Dadurch, dass einheitliche Standards fehlen, sind die Vergleichsmöglichkeiten in Literatur und Praxis stark eingeschränkt. Deshalb arbeiteten wir in einer Studie den aktuellen Stand in der Literatur systematisch auf als Grundlage für zukünftige Arbeiten zur Verbesserung der postoperativen Behandlungsmöglichkeiten sowie zur Entwicklung von Standards.

Ziel der gesamten Behandlung sollte es sein, die Ausgangskraft der Wadenmuskulatur – vor allem des M. Triceps surae - wiederzuerlangen. Dazu gehören neben der Muskelkraft, die Gelenkstabilität, Koordination wie auch Vorspannung der Muskulatur. Gemäß der Literatur besteht allerdings zum Teil ein Defizit von 30 % im Vergleich zur gesunden Seite, was mitunter nach operativer Versorgung besser ist als bei konservativer Therapie [224].

Neben der Vielzahl an Kraftmessgeräten, unter anderem Dynamometern oder anderweitige Tests, haben wir bereits relevante Unterschiede in der Aufwärmperiode gefunden. Das am häufigsten genutzte Dynamometer war das Cybex isokinetische System, das in sitzender Position bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60° und 120° pro Sekunde angewendet wird. In einigen Fällen erfolgte statt der isokinetischen die isometrische Kraftmessung. Innerhalb der einzelnen Messmethoden wurde eine Vielzahl von Winkeln der Plantar- und Dorsalflexionen gemessen. Die Patientenposition für die dynamometrische Messung reichte von der sitzenden Position bis hin zur Bauch- oder Rückenlage mit gestreckten oder gebeugten Knien. Zudem variierten die Winkelgeschwindigkeiten von 30° bis 180° pro Sekunde [225].

Trotz der Vielzahl an Studien konnte weder eine einheitliche noch eine optimale Methode gefunden werden. Als praktikabelste Lösung wird eine Messung beim sitzenden Patienten in einer geschlossenen kinetischen Kette angesehen. Jedoch wiesen Porter et al. darauf hin, dass sich in stehender Position weit höhere konzentrische Kräfte messen lassen. Diese Messungen können allerdings bei Patienten mit Gleichgewichtsproblemen nur schwer durchgeführt werden [226], [227].

Neben den Messtechniken zeigte sich die Umfangmessung der Wadenmuskulatur (0,97-0,98 mm), die Sehnenbreite (0,84-0,87 mm), die Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes (0,71-0,91 mm) und der stehende Zehenspitzenstandtest als gute, zuverlässige Alternativen [225]. Ähnliches konnten Karnofel et al. anhand eines standardisierten Protokolls zur isokinetischen Maximalkraftmessung in Plantar- und Dorsalflexion zeigen, das gute, reproduzierbare Resultate mit dem Cybex II Dynamometer lieferte. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass unterschiedliche Positionen und Testgeschwindigkeiten die Maximalkraft maßgeblich beeinträchtigen können [150]. Gute Resultate können durch die Vereinheitlichung des Untersuchungsdesigns, von Messprotokollen wie auch der Messung von Maximalkraft und Durchschnittsdrehmoment der Wadenmuskulatur generiert werden [228], [227].

Auch wenn nur eine geringe Korrelation zwischen den Messungen und der subjektiven Patientenzufriedenheit bestand, ist es notwendig, eine einheitliche Messtechnik zu entwickeln. Dadurch lässt sich die Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten, wie zum Beispiel von Hochleistungssportlern nach einem Unfall, besser entscheiden. Basierend auf Literaturrecherchen ist eine der einfachsten

Untersuchungsmethoden der (Einbein-)Zehenspitzenstand Ausdauerstest, wobei die Anzahl der Hebungen bei einer Geschwindigkeit von 30 Fersenhebungen pro Minute das Maß der Kraft ist [162]. Dieser kann ohne großen Aufwand während einer klinischen Untersuchung durchgeführt und mit der gesunden Seite verglichen werden.

### 3.4 Limitationen

Die Studien zeigen einige Limitationen auf. Zunächst einmal basieren alle in diese Arbeit einbezogenen Studien auf Daten aus dem New York Presbyterian Hospital / Columbia University Medical Center. Somit ist eine Vergleichbarkeit mit europäischen / deutschen Behandlungsstrategien und daraus resultierenden Ergebnissen nur bedingt möglich.

Im Weiteren handelt es sich bei 5 der 7 Studien um retrospektive Analysen auf der Grundlage von Patientendaten. Die übrigen beiden sind Metanalysen, denen umfassende Literaturrecherchen über das Internet zugrunde liegen. Das bedeutet, dass in allen Fällen auf vorhandene Datenquellen zurückgegriffen wurde, die im Rahmen von zurückliegenden Behandlungen erhoben wurden. Diese wurden hier unter bestimmten Gesichtspunkten, wie den Behandlungsarten und -ergebnissen, ausgewertet. Bei einer solchen Vorgehensweise können folgende Limitationen auftreten, die bei der Beurteilung des Aussagegehaltes und seiner Bedeutung für die klinische Praxis berücksichtigt werden sollten. Dazu gehören

- häufig nur geringe Kohorten mit unterschiedlichen Merkmalen
- höchstens bedingte Vergleichbarkeit und Kohärenz in der medizinischen Behandlung und Beurteilung von Behandlungsergebnissen einschließlich Komplikationen
- Möglichkeit von Langzeitbetrachtungen stark eingeschränkt
- höchstens bedingte Berücksichtigung neuer Verfahren und Methoden
- kein problemorientiertes Erhebungsdesign für komplexere Untersuchungen.

Inwieweit diese unterschiedlichen Gesichtspunkte für die verschiedenen Studien relevant sind, soll im Folgendem begrenzt auf die wichtigsten Aspekte aufgezeigt werden.

In die Untersuchung der Dauer bis zur operativen Versorgung (siehe 2.1) wurde nur eine geringe Kohorte einbezogen; eine Fall-Kontroll-Studie wie auch eine Power-Analyse sowie eine Stichprobenberechnung wurden nicht durchgeführt. Ebenfalls wurden die Frakturtypen nur nach der Weber Klassifikation, in uni-, bi- oder trimalleolar mit oder ohne Syndesmosenruptur eingeteilt ohne Berücksichtigung von Weichteilschäden.

Die Ergebnisse zeigten eine gering erhöhte Dislokationsrate in der frühversorgten Gruppe; allerdings hatte nur die Hälfte (n=58/118) der Patienten eine klinische Verlaufskontrolle von mehr als 24 Monaten. Daher konnten Langzeit-Komplikationen, wie die posttraumatische Arthrose, die eine wesentliche Komplikation darstellt, nicht eingeschlossen werden.

Eine weitere Limitation der Luxationsfrakturstudie (siehe 2.2) war die Selektion. Das heißt, es wurde eine signifikant jüngere Vergleichsgruppe in die Studie einbezogen, Personen also, die im Allgemeinen einen



höheren Leistungsanspruch haben. Zudem wurde die Beweglichkeit des oberen und unteren Sprunggelenks nicht routinemäßig objektiv untersucht. Letztlich wurde die Qualität der Reposition auf einem Röntgenbild in zwei Ebenen erhoben, mit dem sich intraartikuläre Stufen nur schwer darstellen lassen; hierfür wäre eine weiterführende Bildgebung wie CT notwendig.

Bei der medialen Malleolarfrakturfixations- wie auch der Fibulaplattenosteosynthese Studie (siehe 2.3 bzw. 2.4) wird die Hauptlimitation darin gesehen, dass die Behandlung von zwei verschiedenen Operateuren vorgenommen wurde. Bei einer solchen Vorgehensweise ist ein unterschiedlicher Erfahrungsschatz, wie ihn die Lernkurve für die geübte Praxis im Zeitablauf beschreibt, nicht auszuschließen. Zudem waren in der medialen Malleolarfrakturfixationsgruppe die Patienten vergleichsweise gesund. Es handelte sich vor allem um eher jüngere Patienten mit einem Durchschnittsalter von 50,3 Jahren mit wenigen Komorbiditäten. Hier gab es keine Vergleichskohorte mit Patienten, welche eine bikortikale Malleolus medialis Fixation hatten. Ebenso gab es in der Nachbehandlung Abweichungen gegenüber den in der Literatur beschriebenen Vorgehensweisen. Analoges gilt für die Komplikationsrate nach Fibulaplattenosteosynthese (siehe 2.5). Hinzu kommt, dass mittlerweile mehrere verschiedene Platten auf dem Markt sind, die Anwendung finden. Unsere Studie untersuchte allerdings nur die am häufigsten verwendete Drittelrohrplatte; eine Auswertung der funktionellen Ergebnisse war nicht möglich, da diese im Verlauf nicht routinemäßig erhoben wurden.

In der Achillessehnenstudie (siehe 2.6) wurde ebenfalls nur eine vergleichsweise kleine Kohorte mit 45 Patienten untersucht. Ein MRT wurde nicht routinemäßig durchgeführt, sondern die primäre Diagnostik erfolgte häufig von anderen Kollegen (Nicht-Orthopäden). Aufgrund dieser Art der Selektion der Patienten ist mit einer Fehlerrate zu rechnen. Es kann also nicht endgültig ausgeschlossen werden, dass die Signalalterationen, welche als sekundäre Ruptur oder degenerative Veränderungen gedeutet wurden, nicht von der Primärruptur ausgingen. Um dieses Risiko zu minimieren, wurden spezielle MRT-Sequenzen ohne Kontrastmittel angewendet. Letztendlich wäre für eine zweifelsfreie Beurteilung des Ausmaßes der Degeneration eine pathologische / histologische Analyse notwendig

Die deskriptiven Studien, in der die Entwicklung des Fibulamarknagels (siehe 2.5) und die Drehmoment-respektive Kraftmessung der unteren Extremität untersucht (siehe 2.7) wurden, berücksichtigen den Stand der aktuellen Literatur. Dafür wurden für beiden Studien systematische Literaturrecherchen in medizinischen Datenbanken vorgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen Messverfahren und Messinstrumente wie auch unterschiedlichen Implantaten war eine abschließende Diskussion der jeweiligen Behandlungserfolge einschließlich der Komplikationsraten nur eingeschränkt möglich. Aufgrund all dieser Besonderheiten, insbesondere der mangelnden Vergleichbarkeit und Kohärenz bereits im Rahmen einer einzelnen Studie, lassen sich kaum Aussagen über komplexere Analysen wie z.B. die

Auswirkungen von Komorbiditäten oder gar Hinweise auf Langzeiterfolge im Rahmen von Langzeitstudien mit längeren Zeitreihen gewinnen. Hierfür wäre ein entsprechendes Erhebungsdesign notwendig.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden die verschiedenen Verletzungsentitäten, Behandlungsmöglichkeiten, Komplikationsraten wie auch die funktionellen Ergebnisse bei Verletzungen des oberen Sprunggelenks eingehend untersucht. Darauf basierend lassen sich verschiedene Ansatzpunkte für zukünftige Studien erkennen. Im Folgenden sollen modifizierte wie auch neue Forschungsschwerpunkte genannt werden, die eine möglichst umfassende Behandlung von Verletzungen des oberen Sprunggelenks patientenorientiert erlauben.

Trotz intensiver Forschung zu Verletzungen des oberen Sprunggelenks sind weitere Studien und empirische, wissenschaftlich fundierte Untersuchungen auf diesem Gebiet notwendig. Denn ein Großteil der vorliegenden Publikationen basiert auf einer retrospektiven Beurteilung mit häufig geringen Fallzahlen. Ungeachtet des Wertes von retrospektiven Studien bzw. Kadaverstudien erscheinen weitere Studien zu bestehenden und neuen Methoden, Verfahren, Hilfsmitteln und Materialien bei der Behandlung von oberen Sprunggelenksverletzungen notwendig. Dabei sollten zukünftige Studien mit großen prospektiven, multizentrischen Kohorten durchgeführt werden, um neben dem langfristigen Behandlungserfolg auch die aktuellen Komplikationsraten und mögliche Verbesserungen verlässlich aufzuzeigen. Auswertungen, besonders von Komplikationsraten im Hinblick auf unterschiedliche Patienten(-gruppen) spezifische Kohorten sowie spezifische Prädispositionen, sollten ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden.

Des Weiteren sollten die Auswirkungen von Begleitverletzungen, wie die häufig intraoperativ beobachteten Gelenkkapselverletzungen oder Bandverletzungen bei OSG Frakturen, untersucht werden. Bislang ist die Korrelation zwischen dem Ausmaß der Gelenkkapselverletzung und der Stabilität bzw. dem funktionellen Ergebnis unklar. Derzeit ist die Hypothese, dass die primäre obere Sprunggelenksstabilität durch das tiefe Deltaband bedingt ist. Inwiefern eine isolierte Verletzung des tiefen Deltabandes wirklich zu einer Instabilität und damit zu einem Talusgleiten führen kann, ist unklar und könnte anhand eines Kadaverprojekts untersucht werden. Dafür sollten isoliert eine Schädigung des tiefen und des oberflächlichen Deltabandes, der Gelenkkapsel, der Syndesmose oder eine Kombination dieser Schädigungen aus den Bändern / der Kapsel an einem Kadaver herbeigeführt und anschließend die Stabilität gemessen werden. Zudem müssen hierbei die anatomischen Variationen, wie zum Beispiel bezüglich Talusform oder Tibiaplafond oder dem korrespondierenden lateralen distalen Tibiawinkel, berücksichtigt werden, da diese vermutlich einen signifikanten Einfluss auf die Stabilität haben. Auch könnte mithilfe eines hochauflösenden posttraumatischen, präoperativen MRTs das Ausmaß der korrelierenden Band- und Kapselverletzungen unter Berücksichtigung der Lauge-Hansen Klassifikation untersucht werden.

Eine weitere große Bedeutung hat die Senkung von Komplikationsraten und Weichteilschäden durch die Osteosynthese bei einer alternden Bevölkerung für eine frühestmögliche Rehabilitation bei gleichzeitiger Optimierung des Hospitalisationsprozesses. Nach stattgehabtem Trauma und vor der anstehenden operativen Versorgung sind abgeschwollene Weichteile bei reizlosem Hautintegument relevant. Diesbezüglich sollten die Verfahren zur Reduzierung der Weichteilschwellung, wie zum Beispiel die AV-Pumpe [229], [230] oder die Magnettherapie [231], analysiert werden. Zur Objektivierung des Ausmaßes der Schwellung könnten eine 3D-Laservermessung oder die Wasserverdrängungs-Methode angewendet werden.

Auch wenn weiterentwickelte Verfahren und / oder Implantate wie die bikortikale Schraubenosteosynthese bei medialen Malleolarfrakturen, neue Marknägel [182], [186], [232], IlluminOss [233] oder resorbierbare Implantate [234], [235] für die Versorgung von Fibulafrakturen biomechanisch eine hohe Belastbarkeit aufweisen, ist die Notwendigkeit für deren Anwendung im klinischen Alltag hinsichtlich einer frühen Mobilisation mit Vollbelastung unsicher. Dazu müssen neue Implantate unter Berücksichtigung der ökonomischen Konsequenzen in moderne Behandlungsalgorithmen eingeordnet werden und ihren klinischen Nutzen belegen. Die Behandlungsalgorithmen sollten den Allgemeinzustand des Patienten, die Weichteile, Komorbiditäten und die Art der Fraktur berücksichtigen, um eine optimale Therapie – konservativ versus operativ – und die postoperative Rehabilitation zu initiieren. [236]

Weitere wissenschaftliche Studien sollten die Behandlungsalgorithmen untersuchen, wozu neben der Belastung – Teil- oder Vollbelastung –, die Physiotherapie, die Wundbehandlung und regelmäßige klinische Verlaufskontrollen mittels Fragebögen (PROMs) sowie Beweglichkeits-/ Kraftmessungen gehören. Neben den bisher allgemeingültigen (z.B. SF-12, SF-36 oder VAS) und spezifischen Fragebögen (z.B. FAOS, MOXFQ) sollten ebenfalls objektive Messungen zu Kraft, Bewegungsausmaß sowie die radiologischen Befunde (z.B. Grad der Arthrose) berücksichtigt werden. Hierfür erscheint es zudem notwendig, eine Standardisierung von Prozessen wie zum Beispiel für die Aufwärmphase vor der Kraftmessung vorzunehmen sowie Referenzwerte festzulegen. Dazu müssen neuere Verfahren wie die Ganganalyse für eine adäquate Interpretation der Daten validiert werden. Dadurch werden der klinische Verlauf sowie die funktionellen Ergebnisse besser widerspiegelt.

Neben den klinischen Ergebnissen spielt die Wirtschaftlichkeit der Behandlung eine immer größere Rolle. In die Betrachtungen einbezogen werden muss dabei auch die Notwendigkeit einer erneuten Operation zur Entfernung von störenden Implantaten. So sind z.B. bei Fibulanägeln, resorbierbaren Implantaten, IlluminOss oder Endobutton Stabilisationen der Syndesmose, im allgemeinen keine Implantatentfernungen notwendig. Denn trotz höherer Implantatkosten könnten diese aufgrund der ausbleibenden Folgeoperation zur Implantatentfernung wirtschaftlich sein.

Um mögliche Fehlerquellen aufgrund eines unterschiedlichen Ausbildungsstandes zu reduzieren, sollten entsprechende Standards erarbeitet und festgelegt werden. Auch wenn in den hier vorgestellten Studien alle Patienten, die in die Forschungsprojekte einbezogen waren, von langjährig erfahrenen Operateuren behandelt wurden, zeigten sich im Vergleich zur Literatur große Unterschiede in den Behandlungsarten und -erfolgen, welche unter anderem durch unterschiedliche Erfahrungen auf Grund der Lernkurve bedingt sein können. Da das Internet immer wichtiger als Informations- und Kommunikationsquelle wird, sollten Informationen fachgerecht, objektiv, transparent und zielgruppengerecht dargeboten werden. Zusätzlich denkbar wäre ein internationales Implantateregister, ähnlich wie für Endoprothesen, zur Nachverfolgung von implantatspezifischen Komplikationen und deren funktionellen Ergebnissen anhand von PROMs.

Abschließend ist festzuhalten, dass vor allem große prospektive, multizentrische Studien unter Verwendung von PROMs dazu beitragen, etablierte Methoden und Implantate zu verbessern und neue Verfahren zu entwickeln. Hierbei sollten stets der wissenschaftliche Aspekt und der klinische Nutzen in Einklang gebracht werden, wie in einigen unserer Studien dargelegt.

## Literaturverzeichnis

### References

1. Clare, M.P., *A rational approach to ankle fractures*. Foot Ankle Clin, 2008. **13**(4): p. 593-610.
2. Tantigate, D., et al., *Anatomy of the ankle capsule: A cadaveric study*. Clin Anat, 2018. **31**(7): p. 1018-1023.
3. Golano, P., et al., *Anatomy of the ankle ligaments: a pictorial essay*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010. **18**(5): p. 557-69.
4. Porter, D.A., et al., *Optimal management of ankle syndesmosis injuries*. Open Access J Sports Med, 2014. **5**: p. 173-82.
5. Grath, G.B., *Widening of the ankle mortise. A clinical and experimental study*. Acta Chir Scand Suppl, 1960. **Suppl 263**: p. 1-88.
6. Rasmussen, O., *Stability of the ankle joint. Analysis of the function and traumatology of the ankle ligaments*. Acta Orthop Scand Suppl, 1985. **211**: p. 1-75.
7. Ulmar, B., et al., [*Rupture of the Achilles tendon*]. Unfallchirurg, 2014. **117**(10): p. 921-37; quiz 938-9.
8. Del Buono, A., O. Chan, and N. Maffulli, *Achilles tendon: functional anatomy and novel emerging models of imaging classification*. Int Orthop, 2013. **37**(4): p. 715-21.
9. Hernandez-Diaz, C., et al., *Clinical anatomy of the ankle and foot*. Reumatol Clin, 2012. **8 Suppl 2**: p. 46-52.
10. Shaw, H.M., et al., *Development of the human Achilles tendon enthesis organ*. J Anat, 2008. **213**(6): p. 718-24.
11. Guillo, S., et al., *Consensus in chronic ankle instability: aetiology, assessment, surgical indications and place for arthroscopy*. Orthop Traumatol Surg Res, 2013. **99**(8 Suppl): p. S411-9.
12. Bäcker, H.C., F.G. Krause, and M.C. Attinger, *Treatment of Chronic Lateral Ankle Instability - A Review*. SciMedCentral JSM Foot and Ankle, 2017. **2**(1018).
13. Singh, R., et al., *Ankle Fractures: A Literature Review of Current Treatment Methods*. Open Journal of Orthopedics, 2014. **4**: p. 192-303.
14. Mayich, D.J., et al., *Gait analysis in orthopedic foot and ankle surgery--topical review, part 1: principles and uses of gait analysis*. Foot Ankle Int, 2014. **35**(1): p. 80-90.
15. Court-Brown, C.M. and B. Caesar, *Epidemiology of adult fractures: A review*. Injury, 2006. **37**(8): p. 691-7.
16. De Boer, A.S., et al., *Health care consumption and costs due to foot and ankle injuries in the Netherlands, 1986-2010*. BMC Musculoskelet Disord, 2014. **15**: p. 128.
17. Vosseller, J.T., J.W. Karl, and J.K. Greisberg, *Incidence of syndesmotic injury*. Orthopedics, 2014. **37**(3): p. e226-9.
18. Lantto, I., et al., *Epidemiology of Achilles tendon ruptures: increasing incidence over a 33-year period*. Scand J Med Sci Sports, 2015. **25**(1): p. e133-8.
19. Fong, D.T., et al., *A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports*. Sports Med, 2007. **37**(1): p. 73-94.
20. Gerber, J.P., et al., *Persistent disability associated with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population*. Foot Ankle Int, 1998. **19**(10): p. 653-60.
21. Williams, G.N., M.H. Jones, and A. Amendola, *Syndesmotic ankle sprains in athletes*. Am J Sports Med, 2007. **35**(7): p. 1197-207.
22. Prins, J.G., *Diagnosis and treatment of injury to the lateral ligament of the ankle. A comparative clinical study*. Acta Chir Scand Suppl, 1978. **486**: p. 3-149.

23. Karlsson, J. and O. Lansinger, *Lateral instability of the ankle joint*. Clin Orthop Relat Res, 1992(276): p. 253-61.
24. van Dijk, C.N., [CBO-guideline for diagnosis and treatment of the acute ankle injury. National organization for quality assurance in hospitals]. Ned Tijdschr Geneesk, 1999. **143**(42): p. 2097-101.
25. Hintermann, B., *Medial ankle instability*. Foot Ankle Clin, 2003. **8**(4): p. 723-38.
26. Stufkens, S.A., et al., *The diagnosis and treatment of deltoid ligament lesions in supination-external rotation ankle fractures: a review*. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2012. **7**(2): p. 73-85.
27. Hintermann, B., M. Knupp, and G.I. Pagenstert, *Deltoid ligament injuries: diagnosis and management*. Foot Ankle Clin, 2006. **11**(3): p. 625-37.
28. Hintermann, B., et al., *Arthroscopic findings in acute fractures of the ankle*. J Bone Joint Surg Br, 2000. **82**(3): p. 345-51.
29. Lindsjo, U., *Operative treatment of ankle fracture-dislocations. A follow-up study of 306/321 consecutive cases*. Clin Orthop Relat Res, 1985(199): p. 28-38.
30. Waterman, B.R., et al., *Risk factors for syndesmotic and medial ankle sprain: role of sex, sport, and level of competition*. Am J Sports Med, 2011. **39**(5): p. 992-8.
31. Wright, R.W., et al., *Ankle syndesmosis sprains in national hockey league players*. Am J Sports Med, 2004. **32**(8): p. 1941-5.
32. Weening, B. and M. Bhandari, *Predictors of functional outcome following transsyndesmotic screw fixation of ankle fractures*. J Orthop Trauma, 2005. **19**(2): p. 102-8.
33. Norkus, S.A. and R.T. Floyd, *The anatomy and mechanisms of syndesmotic ankle sprains*. J Athl Train, 2001. **36**(1): p. 68-73.
34. Hunt, K.J., *Syndesmosis injuries*. Curr Rev Musculoskelet Med, 2013. **6**(4): p. 304-12.
35. Pankovich, A.M., *Maisonneuve fracture of the fibula*. J Bone Joint Surg Am, 1976. **58**(3): p. 337-42.
36. Carden, D.G., et al., *Rupture of the calcaneal tendon. The early and late management*. J Bone Joint Surg Br, 1987. **69**(3): p. 416-20.
37. Zollinger, H., M. Rodniguez, and M. Genoni, *Zur Atiopathogenese und Diagnostik der Achillessehneurupturen un sport*. Sportverletzung und sportschaden, ed. C. G. 1983, Stuttgart: Georg Theme. 75-77.
38. Amlang, M.H., et al., *Ultrasonographic classification of achilles tendon ruptures as a rationale for individual treatment selection*. ISRN Orthop, 2011. **2011**: p. 869703.
39. Park, D.Y. and L. Chou, *Stretching for prevention of Achilles tendon injuries: a review of the literature*. Foot Ankle Int, 2006. **27**(12): p. 1086-95.
40. Hess, G.W., *Achilles tendon rupture: a review of etiology, population, anatomy, risk factors, and injury prevention*. Foot Ankle Spec, 2010. **3**(1): p. 29-32.
41. Carr, A.J. and S.H. Norris, *The blood supply of the calcaneal tendon*. J Bone Joint Surg Br, 1989. **71**(1): p. 100-1.
42. Maffulli, N., *Current concepts in the management of subcutaneous tears of the Achilles tendon*. Bull Hosp Jt Dis, 1998. **57**(3): p. 152-8.
43. Court-Brown, C.M., J. McBirnie, and G. Wilson, *Adult ankle fractures--an increasing problem?* Acta Orthop Scand, 1998. **69**(1): p. 43-7.
44. Goost, H., et al., *Fractures of the ankle joint: investigation and treatment options*. Dtsch Arztebl Int, 2014. **111**(21): p. 377-88.
45. Jensen, S.L., et al., *Epidemiology of ankle fractures. A prospective population-based study of 212 cases in Aalborg, Denmark*. Acta Orthop Scand, 1998. **69**(1): p. 48-50.

46. Bostman, O. and A. Kyro, *Delayed union of fibular fractures accompanying fractures of the tibial shaft*. J Trauma, 1991. **31**(1): p. 99-102.
47. Daly, P.J., et al., *Epidemiology of ankle fractures in Rochester, Minnesota*. Acta Orthop Scand, 1987. **58**(5): p. 539-44.
48. Schuberth, J.M., et al., *Deltoid ligament integrity in lateral malleolar fractures: a comparative analysis of arthroscopic and radiographic assessments*. J Foot Ankle Surg, 2004. **43**(1): p. 20-9.
49. Lauge-Hansen, N., *Fractures of the ankle. II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations*. Arch Surg, 1950. **60**(5): p. 957-85.
50. Weber, B.G., *Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes*. 2. 1972, Berne, Switzerland: Hans Huber.
51. Danis, R., *Les fractures malleolaires*. Theorie et Pratique de l'Osteosynthese. 1949, Paris, France: Masson.
52. Aitken, S.A., et al., *An evaluation of the Herscovici classification for fractures of the medial malleolus*. Foot Ankle Surg, 2017. **23**(4): p. 317-320.
53. Herscovici, D., Jr., J.M. Scaduto, and A. Infante, *Conservative treatment of isolated fractures of the medial malleolus*. J Bone Joint Surg Br, 2007. **89**(1): p. 89-93.
54. Tartaglione, J.P., et al., *Classifications in Brief: Lauge-Hansen Classification of Ankle Fractures*. Clin Orthop Relat Res, 2015. **473**(10): p. 3323-8.
55. Gustilo, R.B. and J.T. Anderson, *Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses*. J Bone Joint Surg Am, 1976. **58**(4): p. 453-8.
56. Kim, P.H. and S.S. Leopold, *In brief: Gustilo-Anderson classification*. [corrected]. Clin Orthop Relat Res, 2012. **470**(11): p. 3270-4.
57. Khan, T.H., F.A. Farooqui, and K. Niazi, *Critical review of the ankle brachial index*. Curr Cardiol Rev, 2008. **4**(2): p. 101-6.
58. Stiell, I., *Ottawa ankle rules*. Can Fam Physician, 1996. **42**: p. 478-80.
59. Egol, K.A., et al., *Ankle stress test for predicting the need for surgical fixation of isolated fibular fractures*. J Bone Joint Surg Am, 2004. **86-A**(11): p. 2393-8.
60. Coughlin, M.J., R.A. Mann, and C.L. Saltzman, *Imaging of the Foot and Ankle*. 8th ed. Surgey of the Foot and Ankle. 2006, Mosby: Elseview.
61. Harper, M.C., *An anatomic study of the short oblique fracture of the distal fibula and ankle stability*. Foot Ankle, 1983. **4**(1): p. 23-9.
62. Seidel, A., F. Krause, and M. Weber, *Weightbearing vs Gravity Stress Radiographs for Stability Evaluation of Supination-External Rotation Fractures of the Ankle*. Foot Ankle Int, 2017. **38**(7): p. 736-744.
63. Latham, A.J., et al., *Ankle syndesmosis repair and rehabilitation in professional rugby league players: a case series report*. BMJ Open Sport Exerc Med, 2017. **3**(1): p. e000175.
64. van Dijk, C.N., et al., *Classification and diagnosis of acute isolated syndesmotic injuries: ESSKA-AFAS consensus and guidelines*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016. **24**(4): p. 1200-16.
65. Kumar, A., et al., *Effect of CT on Management Plan in Malleolar Ankle Fractures*. Foot Ankle Int, 2018. **39**(1): p. 59-66.
66. Okanobo, H., et al., *Simplified diagnostic algorithm for Lauge-Hansen classification of ankle injuries*. Radiographics, 2012. **32**(2): p. E71-84.
67. Gardner, M.J., et al., *The ability of the Lauge-Hansen classification to predict ligament injury and mechanism in ankle fractures: an MRI study*. J Orthop Trauma, 2006. **20**(4): p. 267-72.
68. Gakhal, M.S. and K.A. Sartip, *CT angiography signs of lower extremity vascular trauma*. AJR Am J Roentgenol, 2009. **193**(1): p. W49-57.
69. Park, J.W., et al., *Ultrasonography of the ankle joint*. Ultrasonography, 2017. **36**(4): p. 321-335.



70. Mittlmeier, T., [*Ligament injuries of the foot. Diagnosis and therapy*]. Orthopade, 1998. **27**(10): p. 713-24.
71. Gould, N., D. Seligson, and J. Gassman, *Early and late repair of lateral ligament of the ankle*. Foot Ankle, 1980. **1**(2): p. 84-9.
72. Coughlin, M.J., et al., *Comprehensive reconstruction of the lateral ankle for chronic instability using a free gracilis graft*. Foot Ankle Int, 2004. **25**(4): p. 231-41.
73. Mittlmeier, T., [*Chronic lateral ligament instability of the ankle joint*]. Oper Orthop Traumatol, 2019. **31**(3): p. 167-168.
74. Lawrence, J.E., et al., *Functional outcomes of conservatively managed acute ruptures of the Achilles tendon*. Bone Joint J, 2017. **99-B**(1): p. 87-93.
75. Yang, X., et al., *Management of acute Achilles tendon ruptures: A review*. Bone Joint Res, 2018. **7**(10): p. 561-569.
76. Kadakia, A.R., R.G. Dekker, 2nd, and B.S. Ho, *Acute Achilles Tendon Ruptures: An Update on Treatment*. J Am Acad Orthop Surg, 2017. **25**(1): p. 23-31.
77. Gulati, V., et al., *Management of achilles tendon injury: A current concepts systematic review*. World J Orthop, 2015. **6**(4): p. 380-6.
78. Pajala, A., et al., *Augmented compared with nonaugmented surgical repair of a fresh total Achilles tendon rupture. A prospective randomized study*. J Bone Joint Surg Am, 2009. **91**(5): p. 1092-100.
79. Mortensen, H.M., O. Skov, and P.E. Jensen, *Early motion of the ankle after operative treatment of a rupture of the Achilles tendon. A prospective, randomized clinical and radiographic study*. J Bone Joint Surg Am, 1999. **81**(7): p. 983-90.
80. Mauffrey, C., et al., *Acute management of open fractures: proposal of a new multidisciplinary algorithm*. Orthopedics, 2012. **35**(10): p. 877-81.
81. White, C.B., et al., *Open ankle fractures in patients with diabetes mellitus*. Clin Orthop Relat Res, 2003(414): p. 37-44.
82. Hulsker, C.C., et al., *Evidence-based treatment of open ankle fractures*. Arch Orthop Trauma Surg, 2011. **131**(11): p. 1545-53.
83. Rungprai, C., *Conservative Treatment Versus Repair Deltoid in SER Type IV Equivalent Ankle Fracture A Prospective Randomized Controlled Study*. Foot and Ankle Orthopaedics, 2018. **3**(2).
84. Salai, M., et al., *The epidemic of ankle fractures in the elderly--is surgical treatment warranted?* Arch Orthop Trauma Surg, 2000. **120**(9): p. 511-3.
85. Van Schie-Van der Weert, E.M., et al., *Determinants of outcome in operatively and non-operatively treated Weber-B ankle fractures*. Arch Orthop Trauma Surg, 2012. **132**(2): p. 257-63.
86. Stockle, U., et al., [*Cast immobilization versus vacuum stabilizing system. Early functional results after osteosynthesis of ankle joint fractures*]. Unfallchirurg, 2000. **103**(3): p. 215-9.
87. Schepers, T., et al., *The timing of ankle fracture surgery and the effect on infectious complications; a case series and systematic review of the literature*. Int Orthop, 2013. **37**(3): p. 489-94.
88. Einhorn, T.A., *The cell and molecular biology of fracture healing*. Clin Orthop Relat Res, 1998(355 Suppl): p. S7-21.
89. Marsell, R. and T.A. Einhorn, *The biology of fracture healing*. Injury, 2011. **42**(6): p. 551-5.
90. Danoff, J.R., et al., *Augmentation of Fracture Healing Using Soft Callus*. J Orthop Trauma, 2016. **30**(3): p. 113-8.
91. Breeland, G., M.A. Sinkler, and R.G. Menezes, *Embryology, Bone Ossification*, in StatPearls. 2021: Treasure Island (FL).
92. Mittlmeier, T., J. Bartonicek, and S. Rammelt, *Das posteriore Tibiakantenfragment bei der Fraktur des oberen Sprunggelenks*. Fuß & Sprunggelenk - FussSprungg, 2016: p. 1-15.

93. Muller ME, A.M., Schneider R, Willenegger H, *Manual of internal fixation*. 1991.
94. Perren, S.M., *Physical and biological aspects of fracture healing with special reference to internal fixation*. Clin Orthop Relat Res, 1979(138): p. 175-96.
95. Cornell, C.N., *Internal fracture fixation in patients with osteoporosis*. J Am Acad Orthop Surg, 2003. **11**(2): p. 109-19.
96. Hausman, M. and A. Panozzo, *Treatment of distal humerus fractures in the elderly*. Clin Orthop Relat Res, 2004(425): p. 55-63.
97. Fitzpatrick, D.C., et al., *Relative stability of conventional and locked plating fixation in a model of the osteoporotic femoral diaphysis*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2009. **24**(2): p. 203-9.
98. Huang, Z., et al., *Comparison of three plate system for lateral malleolar fixation*. BMC Musculoskelet Disord, 2014. **15**: p. 360.
99. Pollard, J.D., et al., *Comparison of pullout strength between 3.5-mm fully threaded, bicortical screws and 4.0-mm partially threaded, cancellous screws in the fixation of medial malleolar fractures*. J Foot Ankle Surg, 2010. **49**(3): p. 248-52.
100. Ricci, W.M., P. Tornetta, and J. Borrelli, Jr., *Lag screw fixation of medial malleolar fractures: a biomechanical, radiographic, and clinical comparison of unicortical partially threaded lag screws and bicortical fully threaded lag screws*. J Orthop Trauma, 2012. **26**(10): p. 602-6.
101. King, C.M., et al., *Bicortical fixation of medial malleolar fractures: a review of 23 cases at risk for complicated bone healing*. J Foot Ankle Surg, 2012. **51**(1): p. 39-44.
102. Hartwich, K., et al., *Biomechanical Analysis of Stability of Posterior Antigliding Plating in Osteoporotic Pronation Abduction Ankle Fracture Model With Posterior Tibial Fragment*. Foot Ankle Int, 2017. **38**(1): p. 58-65.
103. O'Connor, T.J., et al., *"A to p" screw versus posterolateral plate for posterior malleolus fixation in trimalleolar ankle fractures*. J Orthop Trauma, 2015. **29**(4): p. e151-6.
104. Solan, M.C. and A. Sakellariou, *Posterior malleolus fractures: worth fixing*. Bone Joint J, 2017. **99-B**(11): p. 1413-1419.
105. Nussbaum, E.D., et al., *Prospective evaluation of syndesmotic ankle sprains without diastasis*. Am J Sports Med, 2001. **29**(1): p. 31-5.
106. Press, C.M., A. Gupta, and M.R. Hutchinson, *Management of ankle syndesmosis injuries in the athlete*. Curr Sports Med Rep, 2009. **8**(5): p. 228-33.
107. Amendola, A., G. Williams, and D. Foster, *Evidence-based approach to treatment of acute traumatic syndesmosis (high ankle) sprains*. Sports Med Arthrosc Rev, 2006. **14**(4): p. 232-6.
108. Albers, G.H., et al., *Distal tibiofibular synostosis after ankle fracture. A 14-year follow-up study*. J Bone Joint Surg Br, 1996. **78**(2): p. 250-2.
109. McBryde, A., et al., *Syndesmotic screw placement: a biomechanical analysis*. Foot Ankle Int, 1997. **18**(5): p. 262-6.
110. de-Las-Heras Romero, J., et al., *Management of syndesmotic injuries of the ankle*. EFORT Open Rev, 2017. **2**(9): p. 403-409.
111. van den Bekerom, M.P., P.A. de Leeuw, and C.N. van Dijk, *Delayed operative treatment of syndesmotic instability. Current concepts review*. Injury, 2009. **40**(11): p. 1137-42.
112. Del Buono, A., et al., *Syndesmosis injuries of the ankle*. Curr Rev Musculoskelet Med, 2013. **6**(4): p. 313-9.
113. Yasui, Y., et al., *Anatomical reconstruction of the anterior inferior tibiofibular ligament for chronic disruption of the distal tibiofibular syndesmosis*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011. **19**(4): p. 691-5.
114. Costa, M.L., et al., *Randomised controlled trials of immediate weight-bearing mobilisation for rupture of the tendo Achillis*. J Bone Joint Surg Br, 2006. **88**(1): p. 69-77.

115. Chiodo, C.P., et al., *Diagnosis and treatment of acute Achilles tendon rupture*. J Am Acad Orthop Surg, 2010. **18**(8): p. 503-10.
116. Zhao, J.G., et al., *Early functional rehabilitation versus traditional immobilization for surgical Achilles tendon repair after acute rupture: a systematic review of overlapping meta-analyses*. Sci Rep, 2017. **7**: p. 39871.
117. Lin, C.W., et al., *Rehabilitation for ankle fractures in adults*. Cochrane Database Syst Rev, 2012. **11**: p. CD005595.
118. Smeeing, D.P., et al., *Weight-bearing and mobilization in the postoperative care of ankle fractures: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and cohort studies*. PLoS One, 2015. **10**(2): p. e0118320.
119. Gul, A., et al., *Immediate unprotected weight-bearing of operatively treated ankle fractures*. Acta Orthop Belg, 2007. **73**(3): p. 360-5.
120. Siddique, A., C.V.R. Prasad, and D. O'Connor, *Early active mobilization versus cast immobilization in operatively treated ankle fractures: a prospective analysis of early functional recovery*. European Journal of Trauma, 2005. **31**(4): p. 398-400.
121. Miao, J.Y., et al., *Surgical Treatment of Ankle Syndesmosis Injuries with Syndesmosis Elastic Hook*. Chin Med J (Engl), 2016. **129**(22): p. 2749-2752.
122. Schepers, T., *To retain or remove the syndesmotic screw: a review of literature*. Arch Orthop Trauma Surg, 2011. **131**(7): p. 879-83.
123. Walley, K.C., et al., *Removal of Hardware After Syndesmotic Screw Fixation: A Systematic Literature Review*. Foot Ankle Spec, 2017. **10**(3): p. 252-257.
124. Dingemans, S.A., et al., *Should syndesmotic screws be removed after surgical fixation of unstable ankle fractures? a systematic review*. Bone Joint J, 2016. **98-B**(11): p. 1497-1504.
125. Rammelt, S., H. Zwipp, and R. Grass, *Injuries to the distal tibiofibular syndesmosis: an evidence-based approach to acute and chronic lesions*. Foot Ankle Clin, 2008. **13**(4): p. 611-33, vii-viii.
126. Deng, S., et al., *Surgical Treatment Versus Conservative Management for Acute Achilles Tendon Rupture: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials*. J Foot Ankle Surg, 2017. **56**(6): p. 1236-1243.
127. Ochen, Y., et al., *Operative treatment versus nonoperative treatment of Achilles tendon ruptures: systematic review and meta-analysis*. BMJ, 2019. **364**: p. k5120.
128. Reis FB, H.N.J., Pires RES, *Pseudoartrose*. Rev Bras Ortop, 2005. **40**(3)((3)): p. 79-88.
129. Schmidmaier, G. and A. Moghaddam, *[Long Bone Nonunion]*. Z Orthop Unfall, 2015. **153**(6): p. 659-74; quiz 675-6.
130. Moghaddam, A., et al., *Treatment of atrophic tibia non-unions according to 'diamond concept': Results of one- and two-step treatment*. Injury, 2015. **46 Suppl 4**: p. S39-50.
131. Moghaddam, A., et al., *Cigarette smoking influences the clinical and occupational outcome of patients with tibial shaft fractures*. Injury, 2011. **42**(12): p. 1435-42.
132. James, L.A., N. Sookhan, and D. Subar, *Timing of operative intervention in the management of acutely fractured ankles and the cost implications*. Injury, 2001. **32**(6): p. 469-72.
133. Naumann, M.G., et al., *Associations of timing of surgery with postoperative length of stay, complications, and functional outcomes 3-6 years after operative fixation of closed ankle fractures*. Injury, 2017. **48**(7): p. 1662-1669.
134. Miller, A.G., A. Margules, and S.M. Raikin, *Risk factors for wound complications after ankle fracture surgery*. J Bone Joint Surg Am, 2012. **94**(22): p. 2047-52.
135. Tantigate, D., et al., *Timing of Antibiotic Prophylaxis for Preventing Surgical Site Infections in Foot and Ankle Surgery*. Foot Ankle Int, 2017. **38**(3): p. 283-288.
136. Barnes, H., L.K. Cannada, and J.T. Watson, *A clinical evaluation of alternative fixation techniques for medial malleolus fractures*. Injury, 2014. **45**(9): p. 1365-7.

137. Parker, L., et al., *Screw fixation of medial malleolar fractures: a cadaveric biomechanical study challenging the current AO philosophy*. Bone Joint J, 2013. **95-B**(12): p. 1662-6.
138. Stohrer, M. and D. Franke, *[Nail osteosynthesis of distal extra-articular fractures of the lower leg]*. Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed, 1972. **75**(7): p. 312-9.
139. Lightsey, H.M., et al., *Online Physical Therapy Protocol Quality, Variability, and Availability in Achilles Tendon Repair*. Foot Ankle Spec, 2018: p. 1938640017751185.
140. Kearney, R.S., et al., *A systematic review of patient-reported outcome measures used to assess Achilles tendon rupture management: what's being used and should we be using it?* Br J Sports Med, 2012. **46**(16): p. 1102-9.
141. Maffulli, N., et al., *Achilles tendon ruptures in elite athletes*. Foot Ankle Int, 2011. **32**(1): p. 9-15.
142. Maffulli, N., et al., *Early weightbearing and ankle mobilization after open repair of acute midsubstance tears of the achilles tendon*. Am J Sports Med, 2003. **31**(5): p. 692-700.
143. Mullaney, M.J., et al., *Weakness in end-range plantar flexion after Achilles tendon repair*. Am J Sports Med, 2006. **34**(7): p. 1120-5.
144. Don, R., et al., *Relationship between recovery of calf-muscle biomechanical properties and gait pattern following surgery for achilles tendon rupture*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2007. **22**(2): p. 211-20.
145. Kaniki, N., et al., *A retrospective comparative study with historical control to determine the effectiveness of platelet-rich plasma as part of nonoperative treatment of acute achilles tendon rupture*. Arthroscopy, 2014. **30**(9): p. 1139-45.
146. Ohberg, L., R. Lorentzon, and H. Alfredson, *Good clinical results but persisting side-to-side differences in calf muscle strength after surgical treatment of chronic Achilles tendinosis: a 5-year follow-up*. Scand J Med Sci Sports, 2001. **11**(4): p. 207-12.
147. Groetelaers, R.P., et al., *Functional Treatment or Cast Immobilization After Minimally Invasive Repair of an Acute Achilles Tendon Rupture: Prospective, Randomized Trial*. Foot Ankle Int, 2014. **35**(8): p. 771-778.
148. Metz, R., et al., *Recovery of calf muscle strength following acute achilles tendon rupture treatment: a comparison between minimally invasive surgery and conservative treatment*. Foot Ankle Spec, 2009. **2**(5): p. 219-26.
149. Willits, K., et al., *Operative versus nonoperative treatment of acute Achilles tendon ruptures: a multicenter randomized trial using accelerated functional rehabilitation*. J Bone Joint Surg Am, 2010. **92**(17): p. 2767-75.
150. Karnofel, H., K. Wilkinson, and G. Lentell, *Reliability of isokinetic muscle testing at the ankle*. J Orthop Sports Phys Ther, 1989. **11**(4): p. 150-4.
151. Jallageas, R., et al., *Evaluation of surgical treatment for ruptured Achilles tendon in 31 athletes*. Orthop Traumatol Surg Res, 2013. **99**(5): p. 577-84.
152. Richardson, D.R., et al., *Evaluation of the hallux morbidity of single-incision flexor hallucis longus tendon transfer*. Foot Ankle Int, 2009. **30**(7): p. 627-30.
153. Silbernagel, K.G., et al., *Evaluation of lower leg function in patients with Achilles tendinopathy*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2006. **14**(11): p. 1207-17.
154. Bevoni, R., et al., *Long term results of acute Achilles repair with triple-bundle technique and early rehabilitation protocol*. Injury, 2014. **45**(8): p. 1268-74.
155. Karamanidis, K., et al., *Use of a Lucas-Kanade-Based Template Tracking Algorithm to Examine In Vivo Tendon Excursion during Voluntary Contraction Using Ultrasonography*. Ultrasound Med Biol, 2016. **42**(7): p. 1689-700.
156. Nilsson-Helander, K., et al., *Acute achilles tendon rupture: a randomized, controlled study comparing surgical and nonsurgical treatments using validated outcome measures*. Am J Sports Med, 2010. **38**(11): p. 2186-93.

157. Nilsson-Helander, K., et al., *A new surgical method to treat chronic ruptures and reruptures of the Achilles tendon*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2008. **16**(6): p. 614-20.
158. El Shazly, O., et al., *Endoscopic-assisted achilles tendon reconstruction with free hamstring tendon autograft for chronic rupture of achilles tendon: clinical and isokinetic evaluation*. *Arthroscopy*, 2014. **30**(5): p. 622-8.
159. FitzGibbons, R.E., J. Hefferon, and J. Hill, *Percutaneous Achilles tendon repair*. *Am J Sports Med*, 1993. **21**(5): p. 724-7.
160. Porter, D.A., et al., *Acute achilles tendon repair: strength outcomes after an acute bout of exercise in recreational athletes*. *Foot Ankle Int*, 2014. **35**(2): p. 123-30.
161. Fotiadis, E., et al., *A Combined Repair Technique for Early Neglected Achilles Tendon Ruptures*. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2008. **34**(1): p. 37-42.
162. Silbernagel, K.G., et al., *A new measurement of heel-rise endurance with the ability to detect functional deficits in patients with Achilles tendon rupture*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2010. **18**(2): p. 258-64.
163. Konrath, G., et al., *Early versus delayed treatment of severe ankle fractures: a comparison of results*. *J Orthop Trauma*, 1995. **9**(5): p. 377-80.
164. Naumann, M.G., et al., *Associations of timing of surgery with postoperative length of stay, complications, and functional outcomes 3-6 years after operative fixation of closed ankle fractures*. *Injury*, 2017.
165. Saithna, A., et al., *The influence of timing of surgery on soft tissue complications in closed ankle fractures*. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2009. **19**: p. 481-484.
166. Singh, R.A., R. Trickett, and P. Hodgson, *Early versus late surgery for closed ankle fractures*. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2015. **23**(3): p. 341-4.
167. Singh, B., S. Balaratnam, and V. Naidu, *Early versus delayed surgery for ankle fractures: comparison of results*. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2005. **15**(1): p. 23-7.
168. Adamson, S.P., et al., *Ankle fractures: impact of timing of surgery*. *Inj Extr*, 2009. **40**(10): p. 224.
169. Sukeik, M., M. Qaffaf, and G. Ferrier, *Ankle fractures: impact of swelling on timing of surgery, length of hospital stay and the economic burden*. *Inj Extr*, 2010. **41**(12): p. 133-4.
170. Hoiness, P., L. Engebretsen, and K. Stromsoe, *The influence of perioperative soft tissue complications on the clinical outcome in surgically treated ankle fractures*. *Foot Ankle Int*, 2001. **22**(8): p. 642-8.
171. Shah, N.H., et al., *Five-year functional outcome analysis of ankle fracture fixation*. *Injury*, 2007. **38**(11): p. 1308-12.
172. Sculco, P.K., et al., *Dislocation is a risk factor for poor outcome after supination external rotation type ankle fractures*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2016. **136**(1): p. 9-15.
173. SooHoo, N.F., et al., *Complication rates following open reduction and internal fixation of ankle fractures*. *J Bone Joint Surg Am*, 2009. **91**(5): p. 1042-9.
174. Wukich, D.K., et al., *Outcomes of ankle fractures in patients with uncomplicated versus complicated diabetes*. *Foot Ankle Int*, 2011. **32**(2): p. 120-30.
175. Wukich, D.K., et al., *Surgical site infections after foot and ankle surgery: a comparison of patients with and without diabetes*. *Diabetes Care*, 2011. **34**(10): p. 2211-3.
176. Warner, S.J., et al., *Fracture-Dislocations Demonstrate Poorer Postoperative Functional Outcomes Among Pronation External Rotation IV Ankle Fractures*. *Foot Ankle Int*, 2015. **36**(6): p. 641-7.
177. Stiehl, J.B. and H.S. Schwartz, *Long-term results of pronation-external rotation ankle fracture-dislocations treated with anatomical open reduction, internal fixation*. *J Orthop Trauma*, 1990. **4**(3): p. 339-45.

178. Fowler, T.T., et al., *Medial malleolar fractures: a biomechanical study of fixation techniques*. Orthopedics, 2011. **34**(8): p. e349-55.
179. Wegner, A.M., et al., *Sled fixation for horizontal medial malleolus fractures*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2017. **42**: p. 92-96.
180. Wegner, A.M., et al., *Antiglise plating of vertical medial malleolus fractures provides stiffer initial fixation than bicortical or unicortical screw fixation*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2016. **31**: p. 29-32.
181. McLennan, J.G. and J.A. Ungersma, *A new approach to the treatment of ankle fractures. The Inyo nail*. Clin Orthop Relat Res, 1986(213): p. 125-36.
182. Peeperkorn, S., S. Nijs, and H. Hoekstra, *Why Fibular Nailing Can Be an Efficient Treatment Strategy for AO Type 44-B Ankle Fractures in the Elderly*. J Foot Ankle Surg, 2018. **57**(5): p. 961-966.
183. McKenna, P.B., K. O'Shea, and T. Burke, *Less is more: lag screw only fixation of lateral malleolar fractures*. Int Orthop, 2007. **31**(4): p. 497-502.
184. Moriarity, A., et al., *A comparison of complication rates between locking and non-locking plates in distal fibular fractures*. Orthop Traumatol Surg Res, 2018. **104**(4): p. 503-506.
185. Tejwani, N.C., et al., *Are outcomes of bimalleolar fractures poorer than those of lateral malleolar fractures with medial ligamentous injury?* J Bone Joint Surg Am, 2007. **89**(7): p. 1438-41.
186. White, T.O., et al., *A prospective randomised controlled trial of the fibular nail versus standard open reduction and internal fixation for fixation of ankle fractures in elderly patients*. Bone Joint J, 2016. **98-B**(9): p. 1248-52.
187. Lyle, S.A., C. Malik, and M.J. Oddy, *Comparison of Locking Versus Nonlocking Plates for Distal Fibula Fractures*. J Foot Ankle Surg, 2018. **57**(4): p. 664-667.
188. Macera, A., et al., *Postoperative Complications and Reoperation Rates Following Open Reduction and Internal Fixation of Ankle Fracture*. Joints, 2018. **6**(2): p. 110-115.
189. Redfern, D.J., P.S. Sauve, and A. Sakellariou, *Investigation of incidence of superficial peroneal nerve injury following ankle fracture*. Foot Ankle Int, 2003. **24**(10): p. 771-4.
190. Winkler, B., B.G. Weber, and L.A. Simpson, *The dorsal antiglide plate in the treatment of Danis-Weber type-B fractures of the distal fibula*. Clin Orthop Relat Res, 1990(259): p. 204-9.
191. Fenelon, C., et al., *The burden of hardware removal in ankle fractures: How common is it, why do we do it and what is the cost? A ten-year review*. Foot Ankle Surg, 2018.
192. Shalabi, A., *Magnetic resonance imaging in chronic Achilles tendinopathy*. Acta Radiol Suppl (Stockholm), 2004(432): p. 1-45.
193. Kannus, P. and L. Jozsa, *Histopathological changes preceding spontaneous rupture of a tendon. A controlled study of 891 patients*. J Bone Joint Surg Am, 1991. **73**(10): p. 1507-25.
194. Tallon, C., N. Maffulli, and S.W. Ewen, *Ruptured Achilles tendons are significantly more degenerated than tendinopathic tendons*. Med Sci Sports Exerc, 2001. **33**(12): p. 1983-90.
195. Olsson, N., et al., *Ability to perform a single heel-rise is significantly related to patient-reported outcome after Achilles tendon rupture*. Scand J Med Sci Sports, 2014. **24**(1): p. 152-8.
196. Heikkinen, J., et al., *Soleus Atrophy Is Common After the Nonsurgical Treatment of Acute Achilles Tendon Ruptures: A Randomized Clinical Trial Comparing Surgical and Nonsurgical Functional Treatments*. Am J Sports Med, 2017. **45**(6): p. 1395-1404.
197. Frankewycz, B., et al., *Achilles tendon elastic properties remain decreased in long term after rupture*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018. **26**(7): p. 2080-2087.
198. Heikkinen, J., et al., *Tendon Length, Calf Muscle Atrophy, and Strength Deficit After Acute Achilles Tendon Rupture: Long-Term Follow-up of Patients in a Previous Study*. J Bone Joint Surg Am, 2017. **99**(18): p. 1509-1515.

199. Lantto, I., et al., *Early functional treatment versus cast immobilization in tension after achilles rupture repair: results of a prospective randomized trial with 10 or more years of follow-up*. Am J Sports Med, 2015. **43**(9): p. 2302-9.
200. Eliasson, P., et al., *The Ruptured Achilles Tendon Elongates for 6 Months After Surgical Repair Regardless of Early or Late Weightbearing in Combination With Ankle Mobilization: A Randomized Clinical Trial*. Am J Sports Med, 2018. **46**(10): p. 2492-2502.
201. Backus, J.D., et al., *Effect of Suture Caliber and Number of Core Strands on Repair of Acute Achilles Ruptures: A Biomechanical Study*. Foot Ankle Int, 2017. **38**(5): p. 564-570.
202. Herbort, M., et al., *Biomechanical comparison of the primary stability of suturing Achilles tendon rupture: a cadaver study of Bunnell and Kessler techniques under cyclic loading conditions*. Arch Orthop Trauma Surg, 2008. **128**(11): p. 1273-7.
203. Demetracopoulos, C.A., et al., *Limited-Open Achilles Tendon Repair Using Locking Sutures Versus Nonlocking Sutures: An In Vitro Model*. Foot Ankle Int, 2014. **35**(6): p. 612-618.
204. Cottom, J.M., et al., *Evaluation of a New Knotless Suture Anchor Repair in Acute Achilles Tendon Ruptures: A Biomechanical Comparison of Three Techniques*. J Foot Ankle Surg, 2017. **56**(3): p. 423-427.
205. Bong, M., K. Koval, and K. Egol, *The History of Intramedullary Nailing*. Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases, 2006. **64**(3&4).
206. Farill, J., *Orthopedics in Mexic*. J Bone Joint Surg Am, 1952. **24 A**(3): p. 506-12.
207. Jain, S., B.A. Haughton, and C. Brew, *Intramedullary fixation of distal fibular fractures: a systematic review of clinical and functional outcomes*. J Orthop Traumatol, 2014. **15**(4): p. 245-54.
208. Gupta, A., et al., *Outcome of Distal Both Bone Leg Fractures Fixed by Intramedullary Nail for Fibula & MIPPO in Tibia*. Arch Bone Jt Surg, 2015. **3**(2): p. 119-23.
209. Rehman, H., et al., *The implants used for intramedullary fixation of distal fibula fractures: A review of literature*. Int J Surg, 2018. **56**: p. 294-300.
210. Stewart, C.M., D. Kiner, and P. Nowotarski, *Intramedullary nail fixation of fibular fractures associated with tibial shaft and pilon fractures*. J Orthop Trauma, 2013. **27**(5): p. e114-7.
211. Lee, Y.S., et al., *Lateral fixation of AO type-B2 ankle fractures in the elderly: the Knowles pin versus the plate*. Int Orthop, 2007. **31**(6): p. 817-21.
212. Francois, M., et al., *The "epiphysa" fibular nail - 45 cases during 30 months Out experience and results*. Eur J Orthop Surg Traumatol 1998(8): p. 81-83.
213. Asloum, Y., et al., *Internal fixation of the fibula in ankle fractures: a prospective, randomized and comparative study: plating versus nailing*. Orthop Traumatol Surg Res, 2014. **100**(4 Suppl): p. S255-9.
214. Kara, A.N., et al., *A different approach to the treatment of the lateral malleolar fractures with syndesmosis injury: the ANK nail*. J Foot Ankle Surg, 1999. **38**(6): p. 394-402.
215. Gehr, J. and W. Friedl, *[Intramedullary locked fixation and compression nail (IP-XS-Nail): treatment of ankle joint fractures]*. Oper Orthop Traumatol, 2006. **18**(2): p. 155-70.
216. Ramasamy, P.R. and P. Sherry, *The role of a fibular nail in the management of Weber type B ankle fractures in elderly patients with osteoporotic bone--a preliminary report*. Injury, 2001. **32**(6): p. 477-85.
217. Appleton, P., *The Fibula Nail for the Management of Unstable Ankle Fractures*. Oper TechOrthop, 2015(25): p. 298-302.
218. Ashman, B.D., et al., *Fluoroscopy-guided reduction and fibular nail fixation to manage unstable ankle fractures in patients with diabetes: a retrospective cohort study*. Bone Joint J, 2016. **98-B**(9): p. 1197-201.

219. Bugler, K.E., et al., *The treatment of unstable fractures of the ankle using the Acumed fibular nail: development of a technique*. J Bone Joint Surg Br, 2012. **94**(8): p. 1107-12.
220. Challagundla, S.R., et al., *Intramedullary fixation of lateral malleolus using Fibula Rod System in ankle fractures in the elderly*. Foot Ankle Surg, 2017.
221. Coifman, O., et al., *Lateral malleolus closed reduction and internal fixation with intramedullary fibular rod using minimal invasive approach for the treatment of ankle fractures*. Foot Ankle Surg, 2017.
222. Forch, S., U. Franz, and E. Mayr, *[Locked retrograde fibula nail for the surgical treatment of unstable ankle fractures]*. Oper Orthop Traumatol, 2017. **29**(6): p. 483-491.
223. Ebraheim, N.A., et al., *Cannulated Intramedullary Screw Fixation of Distal Fibular Fractures*. Foot Ankle Spec, 2018: p. 1938640018790082.
224. Spennacchio, P., et al., *Outcome evaluation after Achilles tendon ruptures. A review of the literature*. Joints, 2016. **4**(1): p. 52-61.
225. Moller, M., et al., *The reliability of isokinetic testing of the ankle joint and a heel-raise test for endurance*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2005. **13**(1): p. 60-71.
226. Porter, M.M., A.A. Vandervoort, and J.F. Kramer, *A method of measuring standing isokinetic plantar and dorsiflexion peak torques*. Med Sci Sports Exerc, 1996. **28**(4): p. 516-22.
227. Chester, R., et al., *Reliability of isokinetic dynamometry in assessing plantarflexion torque following Achilles tendon rupture*. Foot Ankle Int, 2003. **24**(12): p. 909-15.
228. Cox, P.D., *Isokinetic strength testing of the ankle: a review*. Physiother Can 1995. **47**: p. 97–106.
229. Stockle, U., et al., *Fastest reduction of posttraumatic edema: continuous cryotherapy or intermittent impulse compression?* Foot Ankle Int, 1997. **18**(7): p. 432-8.
230. Rohner-Spengler, M., et al., *Effective Treatment of Posttraumatic and Postoperative Edema in Patients with Ankle and Hindfoot Fractures: A Randomized Controlled Trial Comparing Multilayer Compression Therapy and Intermittent Impulse Compression with the Standard Treatment with Ice*. J Bone Joint Surg Am, 2014. **96**(15): p. 1263-1271.
231. Ross, C.L. and B.S. Harrison, *The use of magnetic field for the reduction of inflammation: a review of the history and therapeutic results*. Altern Ther Health Med, 2013. **19**(2): p. 47-54.
232. Coifman, O., et al., *Lateral malleolus closed reduction and internal fixation with intramedullary fibular rod using minimal invasive approach for the treatment of ankle fractures*. Foot Ankle Surg, 2019. **25**(1): p. 79-83.
233. Zyskowski, M., et al., *[Osteosynthesis of distal fibular fractures with IlluminOss : Video article]*. Unfallchirurg, 2017. **120**(1): p. 6-11.
234. Holweg, P., et al., *A lean bioabsorbable magnesium-zinc-calcium alloy ZX00 used for operative treatment of medial malleolus fractures: early clinical results of a prospective non-randomized first in man study*. Bone Joint Res, 2020. **9**(8): p. 477-483.
235. Grun, N.G., et al., *Resorbable implants in pediatric fracture treatment*. Innov Surg Sci, 2018. **3**(2): p. 119-125.
236. Mardian, S., et al., *Treatment of Tibial Non-Unions - State of the Art and Future Implications*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2016. **83**(6): p. 367-374.



## **Danksagung**

Zunächst möchte ich meinen Eltern, Dr. Susanne Schnorr-Bäcker und Ralf Bäcker, für die große Hilfe während der Ausbildung bedanken. Sie haben mich stets unterstützt und mir mein Medizinstudium und einen Auslandsaufenthalt in New York, USA ermöglicht, wodurch ich die Forschung intensivieren konnte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka, Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité, Klinik für Orthopädie, der mir die Arbeit und Habilitation ermöglicht hat. Ich danke ihm für das in mich gesetzte Vertrauen und die Geduld sowie seine unerschöpfliche Unterstützung in der Umsetzung der wissenschaftlichen Arbeit auf internationalem Level. Zudem danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle, Geschäftsführender Direktor, besonders für die klinische und wissenschaftliche Begleitung bei Durchführung und Verfassen meiner Habilitationsschrift. Unter der Ägide und Mitverantwortung von Prof. Dr. med. Perka und Prof. Dr. med. Stöckle war es möglich, diese Arbeiten zu organisieren und in die Arbeitsabläufe zu integrieren.

Bedanken möchte ich mich auch sehr herzlich bei meinen Mentoren in der Schweiz, Prof. Dr. Martin Beck, (Chefarzt der Klinik für Orthopädie, Luzerner Kantonsspital), Prof. Dr. Marius Keel (Chefarzt der Traumatologie am Inselspital Bern), Prof. Dr. Lorin Benneker (Leiter der Wirbelsäulenchirurgie am Inselspital Bern) und Prof. Dr. Fabian Krause (Leiter der Fußchirurgie, Inselspital Bern), Herren PD Dr. med. Viktor Janz und Dr. med. Sebastian Hardt, Oberärzte im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité, die meinen Werdegang an der Charité stets unterstützt und begleitet haben.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Dr. med. J. Turner Vosseller, Assoc. Prof. Foot and Ankle, wie auch Dr. med. Melvin Rosenwasser, Chef für orthopädische Hand, Microvascular und Trauma Chirurgie, Columbia University Medical Center, New York, und Direktor Dr. med. William Levine, Columbia University Medical Center, New York, die mir die wissenschaftlichen Ressourcen zur Verfügung gestellt und mich stets unterstützt haben.

Allen anderen Mitarbeitern und Kollegen der Klinik, die mich mit ihrer Diskussionsbereitschaft oder klinischen Tätigkeit bei der Verwirklichung dieser Arbeit begleitet haben, möchte ich ebenfalls aufrichtig danken.

## Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

.....

Datum

.....

Unterschrift