

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie  
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Direktor: Prof. Dr. med. habil. R. Finke



**Die Magnetresonanztomographie beim Trauma des oberen Sprunggelenkes im  
Kindesalter im Vergleich mit klinischem Befund und Röntgenbild.**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt  
der Medizinischen Fakultät  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Karsten Stock  
geboren am 10.05.1972 in Wippra/ Südharz

Gutachter: Prof. Dr. R. Finke  
Prof. Dr. R.P. Spielmann  
Prof. Dr. W. Hirsch (Leipzig)

Verteidigungsdatum: 25.10.2005

**urn:nbn:de:gbv:3-000009562**

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000009562>]

Für Susanne

## Referat

Zielstellung dieser Arbeit sind der Vergleich der Aussagekraft von Magnetresonanztomografie und Röntgenaufnahmen des oberen Sprunggelenkes in 2 Ebenen in Bezug auf die therapeutische Konsequenz für die Behandlung von Distorsionstraumata beim Kind und die Frage, ob die MRT für die primäre Traumadiagnostik geeignet ist.

In einer prospektiven Studie wurden 50 Kinder mit Distorsionstrauma mit beiden bildgebenden Verfahren unter Kenntnis der Ergebnisse der klinischen Befunde untersucht. Die Diagnose von Frakturen, Bandrupturen und Bandteilverletzungen, eines Gelenkergusses sowie eines Knochenmarködems (bone bruise) wurden analysiert und deren Wertigkeit für die weitere Behandlung untersucht.

Bei 50 % der Kinder zeigte die MRT pathologische Veränderungen, dagegen war die Röntgenaufnahme nur in 34% der Fälle auffällig. Sämtliche pathologische Röntgenbefunde waren MR-tomografisch nachweisbar. Von 13 Frakturen bei 10 Patienten konnten 12 mittels MRT und 9 anhand der Röntgenaufnahmen diagnostiziert werden. 25 Bandrupturen und 19 Teilrupturen wurden ausschließlich im MRT dargestellt. 1 knöcherner Bandausriss konnte auch im Röntgenbild erkannt werden. Die Ligg. fibulotalare ant. und fibulocalcanear sind die am häufigsten verletzten Bänder. Gelenkerguss und Knochenmarködem sind nur mittels MRT diagnostizierbar. Die sichere Beurteilung der Epiphysenfuge gelingt mittels MRT.

Auffällig ist die Überschätzung der Verletzung anhand des klinischen Bildes und der klinischen Untersuchung. Nach MRT-Befund ergab sich für 34% der Kinder eine Therapiereduzierung und für 12% eine Therapieausweitung. Die Diagnose von Gelenkerguss und Knochenmarködem hatte keinen Einfluss auf die Behandlung.

Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit ist die MRT des oberen Sprunggelenkes das sicherste bildgebende Verfahren zur Diagnostik von Weichteilverletzungen und Frakturen unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Wachstumsalters. Der Ersatz der Röntgendiagnostik beim Sprunggelenkstrauma des Kindes durch die MRT ist möglich, derzeit jedoch noch nicht vollständig in die Praxis umsetzbar.

# INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Material und Methoden	3
2.1	Einschlusskriterien für die Untersuchung	3
2.2	Röntgenaufnahmen	4
2.2.1	Auswertung der Röntgenaufnahmen	4
2.3	Magnetresonanztomographie	4
2.3.1	Sequenzparameter und Untersuchungstechnik	5
2.3.2	Auswertung der Magnetresonanztomographien	7
2.4	Therapieregime bei Supinationstraumata des OSG anhand des klinischen Befundes und der Röntgenauf- nahmen	9
2.5	Auswirkung des MRT-Befundes auf die Behandlung	11
2.6	Datensicherung und Statistik	12
3	Ergebnisse	13
3.1	MRT und Röntgenaufnahmen	13
3.2	Frakturen	14
3.3	Bandrupturen und Bandteiläsionen	16
3.4	Gelenkerguss	19
3.5	Knochenödem „bone bruise“	20
3.6	Änderung des Therapieregimes durch den MRT – Befund	21
4	Diskussion	23
4.1	Unfallmechanismus und Epidemiologie	23
4.2	Mechanische und pathophysiologische Aspekte des Supinationstraumas	24
4.3	Klinische Diagnostik beim Sprunggelenkstrauma	25
4.3.1	Bandverletzungen	27
4.3.2	Frakturen	28

4.4	Röntgendiagnostik des Sprunggelenkes	31
4.4.1	Technik und Methode	31
4.4.2	Das Röntgenbild des kindlichen Sprunggelenkes	32
4.4.3	Diagnostik von Bandverletzungen mittels Röntgenaufnahme	34
4.5	Diagnostik mittels MRT	35
4.5.1	Frakturdiagnostik mittels MRT	36
4.5.2	Diagnostik von Bandläsionen mittels MRT	41
4.5.3	Gelenkerguss in der MRT	43
4.5.4	Besonderheiten der MRT	43
4.6	Auswirkung des MRT – Befundes auf die Therapie	44
5	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	48
6	Literaturverzeichnis	51
7	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	58
8	Thesen	60

## Verzeichnis der Abkürzungen

3D	3-dimensional
A	Einteilung der Epiphysenfrakturen nach Aitken
Abb.	Abbildung/ Abbildungen
ant.	anterior
CT	Computertomographie
DESS	double echo steady state; Doppel-Gradientenecho-Sequenz bei der die Signale beider Echos zu einem addiert werden
FLASH	fast low angle shot; Gradientenecho mit Kleinwinkel Anregung
med.	medial
MRT	Magnetresonanztomographie
MT	magnetisations transfer
post.	posterior
SE	spin echo; 90° - 180° - Pulsfolge
TE	time to echo = doppelte Zeit zwischen dem 90°-Impuls und dem nachfolgendem 180°- Puls einer Spin-Echo-Sequenz
tirm	turbo inversion recovery magnitude; turbo SE mit vorgeschaltetem 180° - Puls; Darstellung des Absolutsignals
TR	repetition time = Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden 90°-Anregungspulsen einer Spin-Echo-Aufnahme

## **1. Einleitung und Zielstellung**

Verletzungen von Knochen und Gelenken kommen in jedem Alter vor. Bereits jedes zweite Kind bzw. jeder zweite Jugendliche hatte bis zum 18. Lebensjahr eine Fraktur (1).

Vorraussetzung für eine adäquate Versorgung und Behandlung der Frakturen sind Kenntnisse über Mechanismen der Frakturentstehung und Folgen dieser Verletzungen für den Betroffenen. Kindliche Frakturen und Bandschädigungen sowie deren bildgebende Diagnostik sind unter besonderer Berücksichtigung der Wachstumsphänomene zu betrachten.

Sprunggelenksfrakturen stellen mit einem Anteil von 7 % nach denen des Ellenbogengelenks die zweithäufigste Fraktur im Wachstumsalter dar. Schwierigkeiten in der Diagnostik bestehen in der Bildgebung mittels Röntgenübersichtsaufnahmen. Hier können Frakturen übersehen und Bandläsionen nur unzureichend anhand von Avulsionsfrakturen diagnostiziert werden. Übersehene Frakturen treten erst durch Wachstumsstörungen oder vorzeitige Arthrosen in Erscheinung und bedürfen dann gegebenenfalls ausgedehnter Therapien (2).

Die Magnetresonanztomografie als bildgebendes Verfahren erfasst traumabedingte Veränderungen des Skeletts und der Weichteile mit hoher Sicherheit (3-7).

Die Schwierigkeiten bei der Beurteilung von Röntgenaufnahmen des kindlichen Skeletts und die bisherigen Erfahrungen mit der Magnetresonanztomografie (MRT), welche als weiterführendes, bildgebendes Verfahren bei fraglichen Befunden angewendet wurde, führten zu dem Vorhaben, die Routinetauglichkeit der MRT für die Primärdiagnostik kindlicher Sprunggelenkstraumata zu evaluieren.

Um die Möglichkeit zu verifizieren, ob die Diagnostik mittels Magnetresonanztomografie im Vergleich mit der Röntgenaufnahme in 2 Ebenen zu verbessern ist, wurden prospektiv Kinder aus der Ambulanz der Klinik für Kinderchirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mit akutem Supinationstrauma des oberen Sprunggelenkes vergleichend mit beiden Verfahren untersucht.

Es sollte einerseits die Aussagekraft der Röntgenaufnahmen mit dem Informationsgehalt der MRT verglichen werden. Hierbei lag besonderes Augenmerk auf der Beurteilung der Bänder und des Knochens. Zum anderen galt der therapeutischen Konsequenz einer eventuell vorhandenen Mehrinformation gesondertes Interesse. Als letztes war die Frage zu beantworten, ob die MRT als Untersuchungsverfahren ohne

Einsatz von Röntgenstrahlen die Röntgenaufnahme in der primären Diagnostik eines Supinationstraumas ersetzen kann.



## **2. Material und Methoden**

In einem Zeitraum von 8 Monaten zwischen Juni 2003 und Februar 2004 wurden 50 Patienten prospektiv mit Magnetresonanztomographie und Röntgen nach einem Supinationstrauma des oberen Sprunggelenkes untersucht. Der jüngste Patient war 5 Jahre und 3 Monate alt, der älteste 17 Jahre und 4 Monate.

### **2.1 Einschlusskriterien für die Untersuchung**

Es wurden 2 Haupteinschlusskriterien definiert:

#### **1. Der Unfallmechanismus:**

Patienten, bei denen ein Trauma des oberen Sprunggelenkes im Sinne der Supination eruiert werden konnte.

#### **2. Die Indikation zur Anfertigung einer Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenks:**

Es sollte nur dann eine MRT durchgeführt werden, wenn die klinischen Symptome des Patienten die Anfertigung einer Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenkes in 2 Ebenen indizierten. Die Indikation für die Anfertigung einer Röntgenaufnahme stellte der diensthabende Kinderchirurg.

Eine weitere Bedingung für die Untersuchung mittels MRT war ein Mindestalter der Patienten von 6 Jahren. Diese untere Altersgrenze ergab sich aus dem Mindestalter für Patienten bei denen die Durchführung einer MRT ohne Narkose möglich ist. Sie entspricht einer institutionsinternen Festlegung der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie im Konsens mit den anderen Kliniken der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Der jüngste Patient wurde im Alter von 5 Jahren 3 Monaten aufgrund seiner abschätzbar guten Compliance untersucht.

Die obere Altersbegrenzung ergab sich aus dem Patientengut der kinderchirurgischen Ambulanz. Kinder und Jugendliche, welche in die Ambulanz der Klinik für Kinderchirurgie unserer Einrichtung zur Behandlung kamen und von einem Dienstarzt der Klinik für Kinderchirurgie versorgt wurden, konnten in die Studie aufgenommen werden. Daraus ergab sich das maximale Alter eines Patienten mit 17 Jahren.

## **2.2 Röntgenaufnahmen**

Die Röntgenaufnahmen des oberen Sprunggelenkes wurden bei jedem Patienten im Liegen auf einem Röntgentisch Bucky Diagnost<sup>®</sup> der Firma Philips ohne Streustrahlenraster unter Verwendung eines konventionellen Film-Folien-System der Empfindlichkeitsklasse 400 angefertigt. Die Aufnahmen wurden in den 2 Standardebene im antero-posterioren und seitlichen Strahlengang angefertigt. Im antero-posterioren Strahlengang erfolgte die Aufnahme, je nach individueller Torsion der Tibia, in 10 - 30° Innenrotation zur exakten Einsicht des fibulotalaren Gelenkspaltes. Die seitliche Sprunggelenksaufnahme wurde mit leicht angehobenem Vorfuß so angefertigt, dass die Talusrolle streng seitlich zur Darstellung kam. Die Zusatzaufnahme in streng antero-posteriorem Strahlengang kam in sämtlichen Fällen nicht zur Anwendung.

### **2.2.1 Auswertung der Röntgenaufnahmen**

Die primäre Auswertung und Beurteilung der Aufnahmen erfolgte durch den behandelnden Kinderchirurgen. Das Röntgenbild jedes Patienten wurde interdisziplinär zwischen Radiologen und Kinderchirurgen innerhalb von 24 Stunden besprochen. Das weitere Procedere oder die Planung desselben erfolgte bei fraglichen Befunden anschließend.

Die radiologische Auswertung erfolgte unter Kenntnis von Klinik und Unfallmechanismus durch einen erfahrenen Assistenzarzt und separat durch einen Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie.

## **2.3 Magnetresonanztomographie**

Mit den Patienten sowie deren Eltern oder Erziehungsberechtigten wurde in der Ambulanz der Klinik für Kinderchirurgie durch den Kinderchirurgen, sowie unmittelbar vor Anfertigung der MRT durch den Radiologen ein ausführliches Aufklärungsgespräch geführt.

Den Eltern wurde das standardisierte Informationsblatt für eine MRT ausgehändigt. In keinem Fall wurde die Untersuchung abgelehnt.

Die Magnetresonanztomographien wurden an einem 1.5 Tesla System Magnetom Sonata<sup>®</sup> der Firma Siemens AG Erlangen-Deutschland unter Verwendung der Kopfspule durchgeführt. Sämtliche Kernspintomographien wurden innerhalb von maximal 3 Kalendertagen nach Vorstellung in der kinderchirurgischen Ambulanz angefertigt. Außer in 2 Fällen wurden alle Patienten innerhalb von 3 Tagen, der überwiegende Teil innerhalb von 36 Stunden nach dem Trauma untersucht.

### **2.3.1 Sequenzparameter und Untersuchungstechnik**

Tabelle 1 zeigt die Untersuchungsparameter der verwendeten Sequenzen sowie deren Schnittführung.

Eine Spin-Echo-Sequenz besteht aus einem 90°- und einem 180°-Impuls. Nach dem 90°-Impuls geraten die Protonen aufgrund externer Magnetfeldinhomogenitäten außer Phase. Der 180°-Impuls dient dazu, externe Magnetfeldinhomogenitäten zu neutralisieren und das Signal zu verstärken.

TE (time to echo) bedeutet das Zweifache der Zeit vom Einstrahlen des 180°-Impulses bis zum Beginn des Spin-Echos. TR (repetition time) ist die Zeit zwischen den 90°-Impulsen.

Tabelle 1 Parameter der durchgeführten MRT-Sequenzen

Wichtung	TR (time of repeat)	TE (time to echo)	Flipwinkel $\alpha$	Ausrichtung	Schichtdicke	Aquisitionszeit
T2 tirm	6300 ms	111 ms	150°	transversal	3 mm	4 min 07 s
T2 tirm	6300 ms	111 ms	150°	coronar	3 mm	4 min 07 s
T1 SE	400 ms	13 ms	150°	transversal	3 mm	2 min 17 s
T1 SE	400 ms	13 ms	150°	coronar	3 mm	2 min 50 s
T2 DESS	24.53 ms	7.13 ms	25°	sagittal	1.2 mm	5 min 22 s
T1 MT flash	323 ms	4 ms	90°	transversal	3 mm	2 min 31 s

Die coronaren Sequenzen wurden im Verlauf von Tibia und Fibula sowie zusätzlich in streng frontaler Ebene ausgerichtet, um die Ligamenta fibulocalcaneare und tibioalcaneare im gesamten Verlauf abbilden und beurteilen zu können. Zudem ergibt sich ein der Röntgenaufnahme vergleichbarer Bildeindruck.

Bei den transversalen Sequenzen wurde die Schichtebene gegenüber der Verbindungslinie zwischen vorderer und hinterer Tibiagelenkflächenkante in mittelliniennaher Position 15-20° ventrocaudal gewinkelt. Diese Einstellung entspricht unabhängig von der Fußhaltung des Patienten in der Spule, welche entsprechend den Schmerzen und der Weichteilschwellung deutlichen, interindividuellen Schwankungen unterliegt, in nahezu allen Fällen dem Verlauf des Ligamentum fibulotalare ant.. Zur Ausrichtung der sagittalen Sequenz wurde die als erste durchgeführte coronare T2 gewichtete Sequenz, sowie der 3-Ebenen-Lokalisator genutzt. Auf das komplette Erfassen beider Malleoli wurde besonders geachtet und dementsprechend die Schichtanzahl der 3D-Sequenz (DESS) zwischen 40 und 48 angepasst.

Die Tomografie erfolgte in allen Fällen nach Entfernung der dorsalen Gipslonguette, da deren relativ hoher Wassergehalt entsprechend des kurzen Zeitfensters zwischen Gipsanlage und Untersuchung zur Artefaktbildung im MRT führen kann. In der Aufnahmespule kamen die üblichen Schaumstoffteile zur stabilen Lagerung der Extremität zur Anwendung. Auf eine standardisierte Zwangshaltung des oberen Sprunggelenkes wurde verzichtet, da diese sowohl schmerzhaft als auch mit problematischen Verwackelungen verbunden sein kann. Zudem liegt ein bedeutender Vorteil der MRT in der Möglichkeit die Schichtführung frei im Raum zu wählen. Abb. 1a und b verdeutlichen die Lagerung des Fußes in der verwendeten Aufnahmespule.



Abb. 1a und b

Darstellung der Lagerung der verletzten Extremität mit den verwendeten Polsterungen (Abb.1a) und nach Anlage des Spulenkäfigs vor Einbringen in den Tomographen (Abb.1b).

Unter Beachtung der Fragestellung wurden folgende Strukturen akzentuiert ausgewertet: Knochen mit eventuell vorhandenem Frakturspalt, Wachstumsfuge, medialer und lateraler Bandapparat, Gelenkerguss, Knorpelbelag an Tibia, Fibula und Talusrolle sowie Weichteilödem.

### **2.3.2 Auswertung der Magnetresonanztomographien**

Als komplette Bandruptur wurde eine nachweisbare Kontinuitätsunterbrechung bzw. das komplette Fehlen einer Bandstruktur gewertet. Eine Signalintensitätserhöhung wurde ebenso als inkomplette Ruptur eingeordnet, wie eine Ausdünnung des Bandes mit unter Umständen abgrenzbaren, partiellen Kontinuitätsunterbrechungen einzelner Bandanteile (Abb. 2 a-c und 3 a-c).

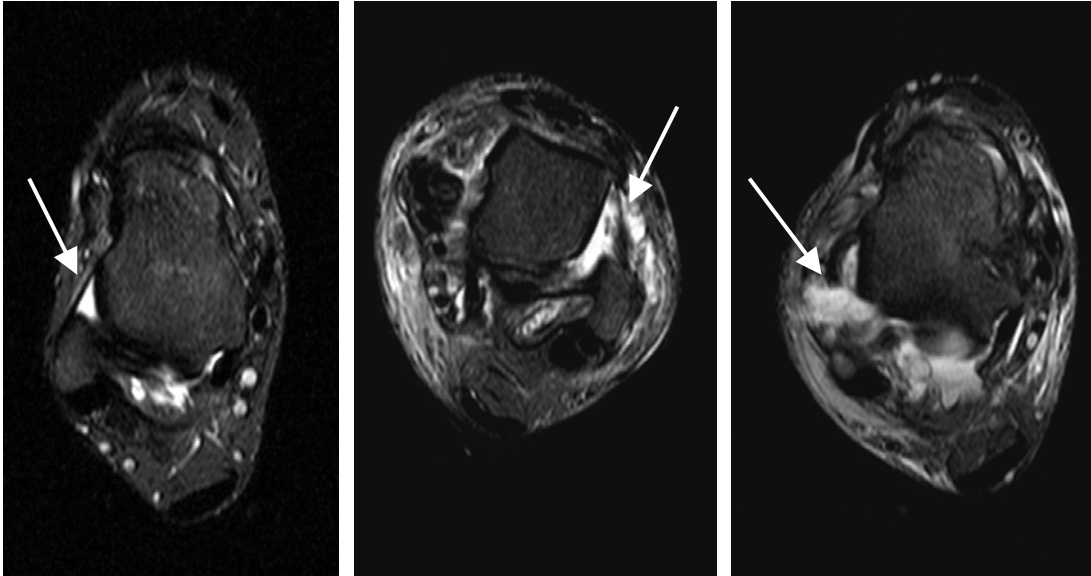


Abbildung 2 a-c

Typische Darstellung (weiße Pfeile) des Lig. fibulotalare ant. in der Sequenz T2 TIRM in transversaler Schichtführung. Abb.2a demonstriert ein unverletztes Band. In Abb.2b (Mitte) kommt ein teilrupturiertes, ausgedünntes Band mit noch partiell erhaltener Kontinuität zur Darstellung. Abb.2c zeigt eine komplette Ruptur mit umgebendem Gelenkerguss.

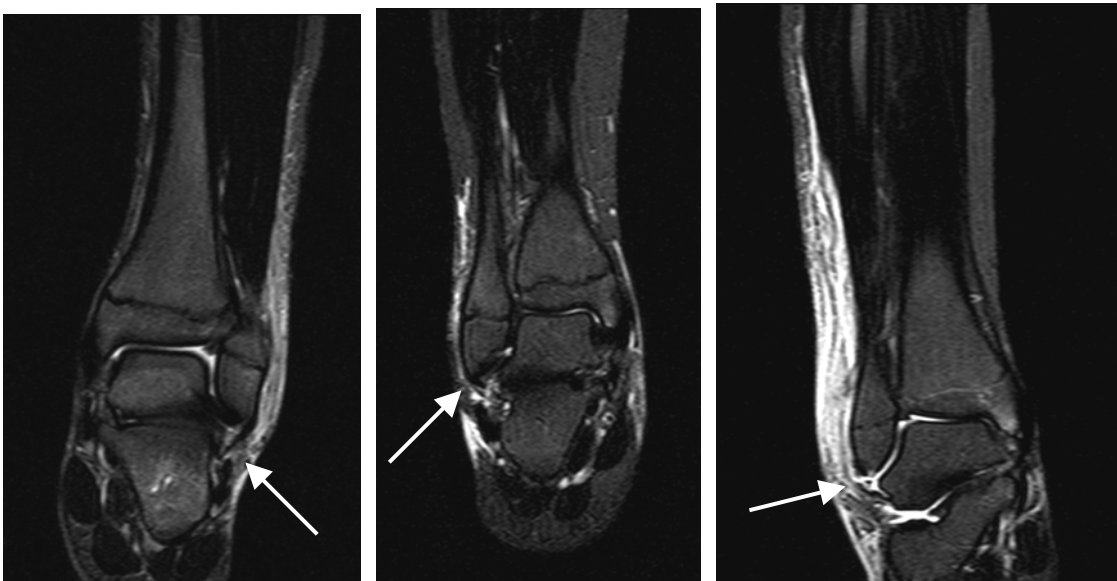


Abbildung 3 a-c

Typische Darstellung (weiße Pfeile) des Lig. fibulocalcaneare in der Sequenz T2 TIRM in coronarer Schichtführung. Abb.3a demonstriert ein unverletztes Band. In Abb.3b (Mitte) kommt ein teilrupturiertes, ausgedünntes Band mit noch partiell erhaltener Kontinuität zur Darstellung. Abb.3c zeigt eine komplette Ruptur mit Gelenkerguss und umgebendem Weichteilödem.

Jeder Fall wurde interdisziplinär mit den Ärzten der Klinik für Kinderchirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg besprochen.

## **2.4 Therapieregime bei Supinationstraumata des OSG anhand des klinischen Befundes und der Röntgenaufnahmen**

Die Behandlung durch die Kinderchirurgen richtete sich nach dem Ergebnis der primären Untersuchung und den Röntgenaufnahmen. Bei geringen Symptomen, wie lokalem Druckschmerz oder leichter Schwellung wurde ein kühlender, stabilisierender Salbenverband angelegt und keine Röntgenaufnahme angefertigt.

Bei klinischem Verdacht auf Fraktur oder/ und Bandläsion wurde anhand der Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenkes in 2 Ebenen über die weitere Vorgehensweise wie in Abb.4 dargestellt entschieden.

## Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenkes in 2 Ebenen

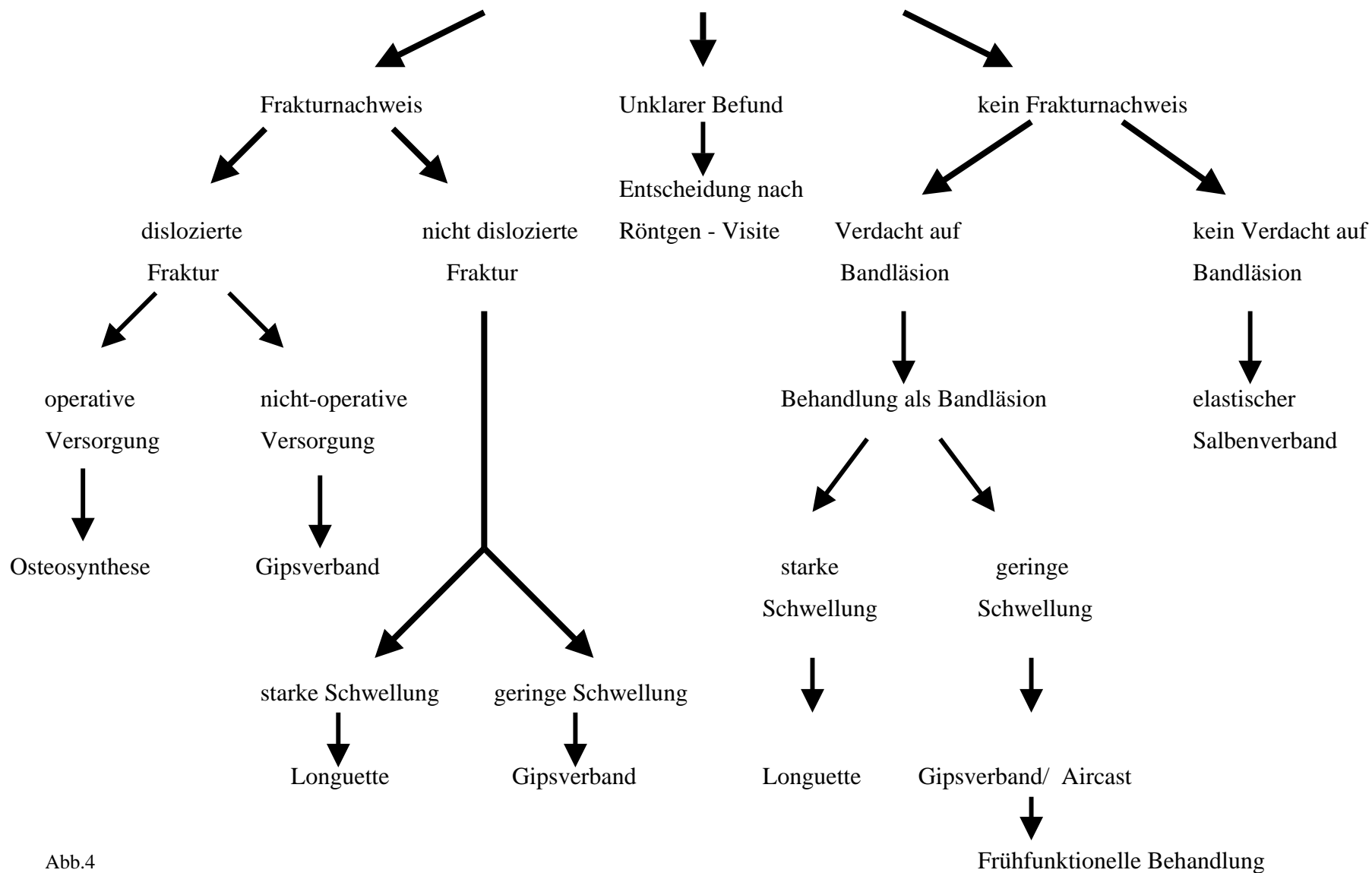


Abb.4



Im Falle eines unklaren Befundes im Röntgenbild, wurde das betroffene Sprunggelenk gleichsam dem Vorliegen einer nicht dislozierten Fraktur ruhiggestellt. Das weitere Vorgehen entschied sich entweder nach der interdisziplinären Befundbesprechung oder bei Vorstellung des Patienten in der Ambulanz nach Konsultation eines ärztlichen Kollegen der Klinik für Kinderchirurgie oder/ und Radiologie.

Beim Vorliegen einer dislozierten Fraktur ergibt sich die Frage nach operativer oder konservativer Versorgung. Hierbei wird in unserer Universitätsklinik die Entscheidung anhand der Röntgenaufnahmen unter Berücksichtigung der individuellen Gegebenheiten des Patienten getroffen. Von Bedeutung sind das Alter des Kindes und die dadurch bedingte Weite der Epiphysenfuge, sowie insbesondere das Vorliegen einer Gelenkflächenstufe. Kann von einer Verbesserung der Fragmentstellung durch einen operativen Eingriff ohne aktive Irritation der Fuge ausgegangen werden, fällt die Entscheidung zu Gunsten der Operation aus. Ist andererseits eine Manipulation oder Verletzung der Fuge im Rahmen des Eingriffes absehbar, bzw. die sichere Fixierung der teilweise sehr kleinen Fragmente durch das Osteosynthesematerial nur fraglich erreichbar, fällt die Entscheidung eher in Richtung einer externen Stabilisierung im Gips- oder Cast-Verband aus. Lassen sich Kleinstfragmente im Gelenkspalt nachweisen, ist eine operative Entfernung derselben zu erwägen, um eine Gelenkknorpelverletzung durch das Fragment zu verhindern.

## **2.5 Auswirkung des MRT-Befundes auf die Behandlung**

Durch die bereits vor Durchführung der MRT festgelegte, vorläufige Behandlungsstrategie war die aus der MRT resultierende Therapieänderung nachvollziehbar und eine Auswertung möglich.

Es wurden diesbezüglich 3 Hauptgruppen definiert werden:

1. Bei Übereinstimmung der aus dem klinischem Befund und den Röntgenaufnahmen resultierenden Diagnose mit der Magnetresonanztomografie änderte sich das therapeutische Vorgehen nicht.

2. Konnte in der Magnetresonanztomografie eine Fraktur oder/ und Bandruptur nachgewiesen werden, obwohl in klinischer Untersuchung und Röntgenbild kein Anhalt dafür bestand, resultierte daraus ein „Mehr“ an Therapie.
3. Ließen sich Verletzungen wie Frakturen oder Bandrupturen mittels Magnetresonanztomografie ausschließen, wurde das therapeutische Vorgehen diesbezüglich angepasst.

## **2.6 Datensicherung und Statistik**

Sämtliche Untersuchungen von MRT und Röntgen wurden zur Auswertung für die vorliegende Arbeit in digitaler Form gesondert gespeichert.

Eine statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse war im Sinne der Fragestellung bis auf Angaben zu Spezifität und Sensitivität bei der Erkennbarkeit von Frakturen nicht sinnvoll.

### **3. Ergebnisse**

Im Untersuchungszeitraum lag mit 24 Mädchen und 26 Knaben eine Gleichverteilung in Bezug auf das Geschlecht der Patienten vor.

29 der Traumata waren rechtsseitig, 21 linksseitig lokalisiert. Die geringe Betonung der rechten Seite war für die Auswertung im Sinne der Fragestellung des Methodenvergleichs jedoch nicht von Bedeutung.

Das mittlere Alter der Patienten betrug 13 Jahre bei einem Median von 13 Jahren und 10 Monaten. Die Standardabweichung betrug 3,0 Jahre.

#### **3.1 Magnetresonanztomographie und Röntgenaufnahmen**

Bei 31 der 50 Patienten (62%) zeigten die Röntgenaufnahmen des oberen Sprunggelenkes keine pathologischen Veränderungen. In der Magnetresonanztomografie fanden sich nur 6 unauffällige Befunde. 25 Kindern ohne pathologischen Röntgenbefund hatten als pathologisch zu wertende Veränderungen wie Frakturen, Bandrupturen oder –teiltrupturen, Gelenkergüsse und Knochenkontusionen.

In insgesamt 39 Fällen (78%) zeigte die MRT therapeutisch relevante Mehrinformationen bezüglich der Fragestellung und des Traumas. Bei 10 Patienten (20%) ergab die durchgeführte Magnetresonanztomografie keine Mehrinformation gegenüber den Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen. In einem Fall konnte eine Knochenschuppe im Rahmen eines Bandausrisses weder im Röntgenbild, noch mittels MRT dargestellt werden.

Bei keinem der untersuchten Kinder lag eine unauffällige Magnetresonanztomografie bei auffälligem Röntgenbild vor.

Die Gesamtdauer der Sequenzakquisition im MRT betrug 21,5 Minuten. Die Zeiten zum Lagern und Vorbereiten des Patienten lagen abhängig von deren Gesamtmobilität zwischen 10 und 20 Minuten. Dementsprechend ergaben sich für die Patienten Untersuchungszeiten von etwa 30 bis maximal 40 Minuten.

### 3.2 Frakturen

Insgesamt fanden sich 13 knöcherne Verletzungen bei 10 Patienten. 7 der Frakturen betrafen die Fibula, 4 Frakturen fanden sich am Malleolus medialis. Es lagen 2 Frakturen der Tibiahinterkante im Sinne eines Volkmann'schen Dreiecks vor. 2 Patienten hatten Mehrfachverletzungen. Hiervon lag in einem Fall zusätzlich eine Weber C Fraktur mit Fugenbeteiligung, im anderen Fall eine trimalleoläre Fraktur mit Avulsionsfrakturen beider Knöchel vor. Dislokationen wurden lediglich im Rahmen der knöchernen Bandausrisse der trimalleolären Fraktur gefunden.

4 Frakturen hatten Bezug zur Epiphysenfuge. Davon waren 2 Fibulafrakturen sowie je eine Fraktur des medialen Malleolus und der Tibiahinterkante.

In Tabelle 2 sind die Frakturen mit Lokalisation und Klassifizierung zusammengefasst.

Tabelle 2 Lokalisation und Klassifikation der nachgewiesenen Frakturen nach Salter und Harris sowie Aitken.

Frakturlokalisierung	Epiphysenfugenbeteiligung SH = Salter und Harris A = Aitken	Besonderheiten
medialer Malleolus	SH III / A II	
medialer Malleolus	keine	nicht dislozierte Schrägfraktur
Fibula (Weber C)	keine	
Fibula (Weber C)	keine	
lateraler Malleolus	SH V/ Fugenstauchung	
lateraler Malleolus	SH III / A II	nicht disloziert
lateraler Malleolus	keine	Avulsionsfraktur
lateraler Malleolus	keine	Avulsionsfraktur
Fibula (Weber C)	keine	gering disloziert
Volkmann - Fraktur	SH IV / A III	nicht disloziert
Trimalleolär	keine	Avulsion beider Malleoli
Talusrolle	keine	und der Tibiavorderkante Impression des Talus

9 Frakturen wurden anhand der Röntgenaufnahmen diagnostiziert bzw. der Frakturverdacht geäußert. 3 Frakturen konnten ausschließlich in der MRT gezeigt werden und waren auch retrospektiv nicht auf den Röntgenaufnahmen zu reproduzieren. Dies waren eine hintere Tibiakantenfraktur (Aitken III), eine Aitken II Fraktur der Fibula und die Fugenstauchung der distalen Fibula. Eine Avulsion im Rahmen einer trimalleolären Fraktur wurde weder in der Magnetresonanztomografie noch auf der Röntgenaufnahme diagnostiziert.

Abb. 5 zeigt das Verhältnis von Magnetresonanztomografie und Projektionsradiographie in der Abgrenzbarkeit der Frakturen des untersuchten Patientengutes anhand von Frakturlinien.

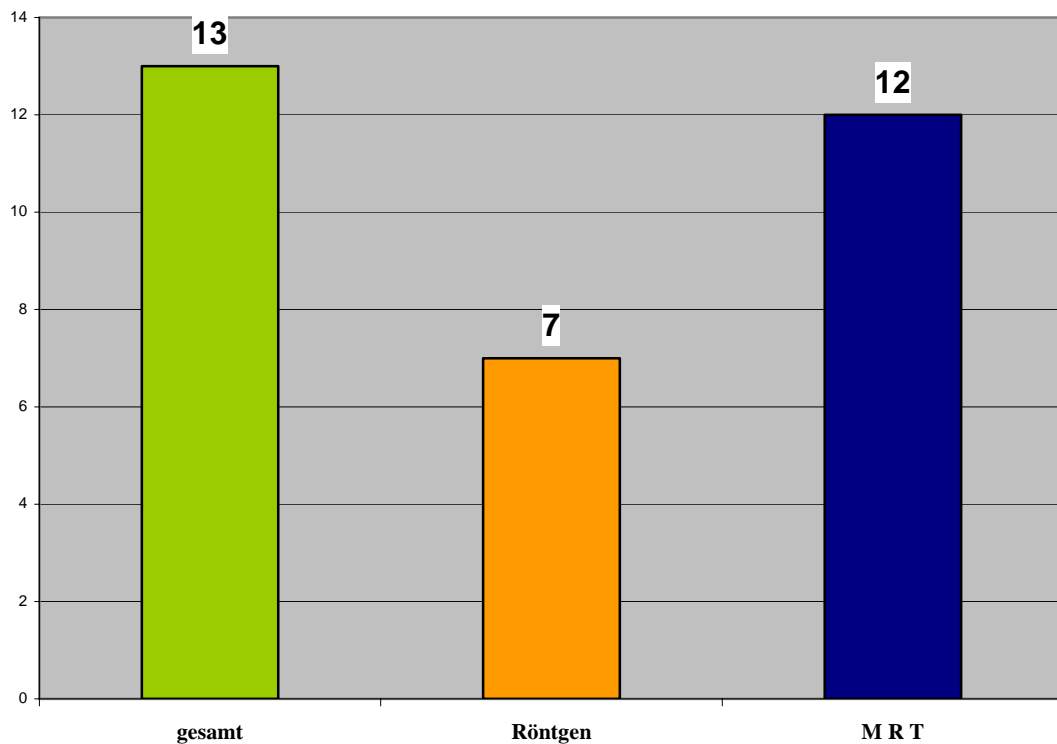


Abb.5 Abgrenzbarkeit der Frakturen anhand von Frakturlinien in Röntgenaufnahmen und MRT im Vergleich mit der Gesamtfrakturanzahl. Über den Säulen sind die Absolutwerte aufgetragen.

Äquivalent wird in Abb.6 die Abgrenzbarkeit der Frakturen anhand von Kortikalisunterbrechungen grafisch verdeutlicht.

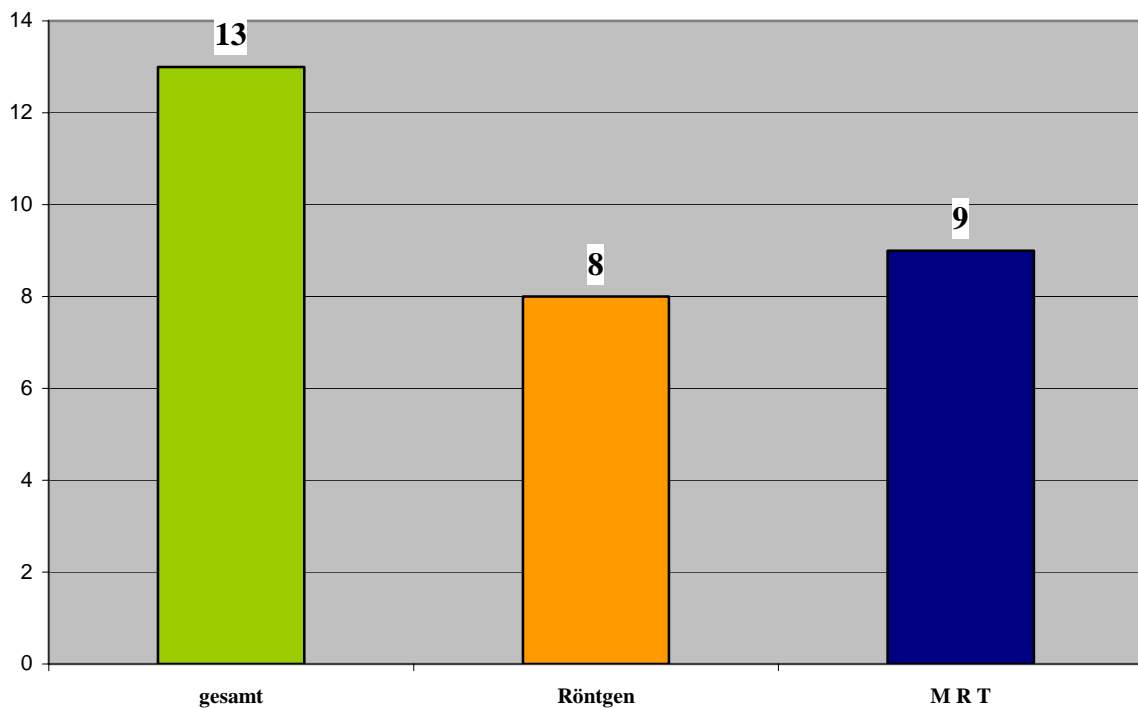


Abb. 6 Abgrenzbarkeit der Kortikalisunterbrechung in Röntgenaufnahmen und MRT im Vergleich mit der Gesamtzahl an Frakturen. Über den Säulen sind die Absolutwerte aufgetragen.

### 3.3 Bandrupturen und Bandteiläsionen

Da mit der Röntgenaufnahme die Beurteilung der Bandstrukturen und der Gelenkkapsel aufgrund des der Methode innewohnenden, geringen Gewebekontrastes nicht möglich ist, stellt diesbezüglich die MRT in unserer Auswertung das Referenzverfahren dar. Nur im Falle eines knöchernen Bandausrisses ist anhand der Röntgenaufnahme die Diagnose Bandverletzung zu stellen. Dies war nur bei einem Kind möglich.

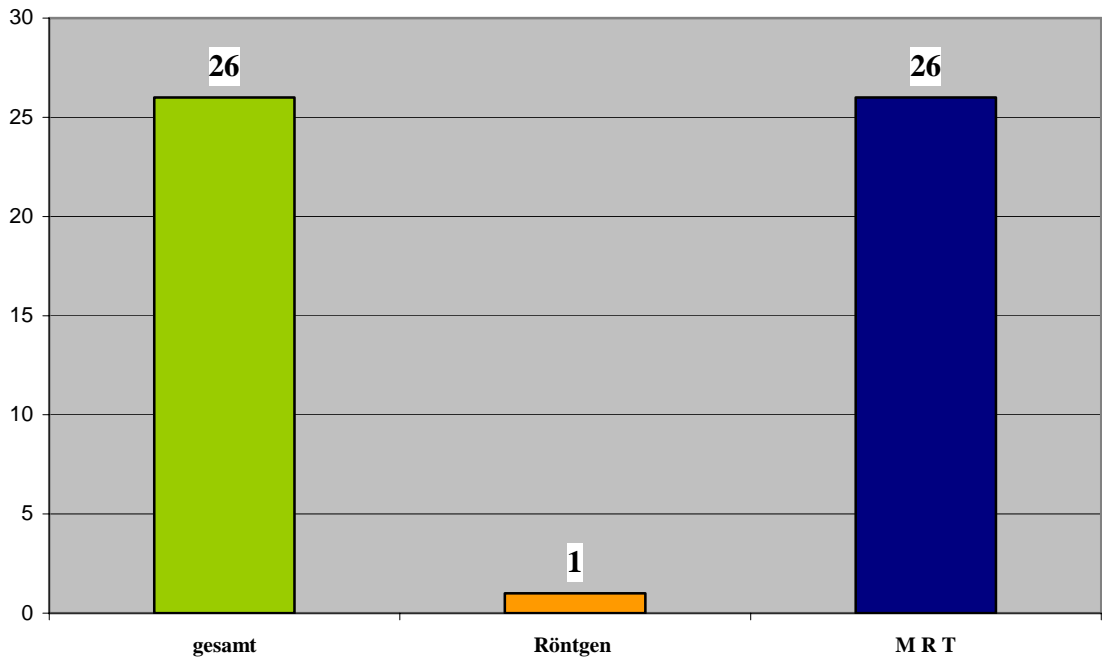


Abb. 7 Nachweis der kompletten Bandrupturen anhand von Röntgenaufnahmen und MRT im Vergleich mit der Anzahl insgesamt erfasster Rupturen. Über den Säulen sind die Absolutwerte aufgetragen.

Im gesamten Patientengut ließen sich mittels MRT bei 35 von 50 Patienten (70%) insgesamt 45 Bandläsionen nachweisen. Davon waren 26 komplette Rupturen und 19 Teilrupturen, die sich wie folgt verteilen:

Tabelle 3 Verteilung der Rupturen und Teilrupturen der einzelnen Bänder; in Klammern sind die prozentualen Anteile am Gesamtkollektiv dargestellt.

	<b>Ruptur</b>	<b>Teilrupturen</b>
Lig. fibulotalare ant.	16 (32%)	11 (22%)
Lig. fibulocalcaneare	10 (20%)	6 (12%)
Lig. fibulotalare post.	0	0
Lig. collaterale med.	0	1 (2%)
vordere Syndesmose	0	1 (2%)
hintere Syndesmose	0	0

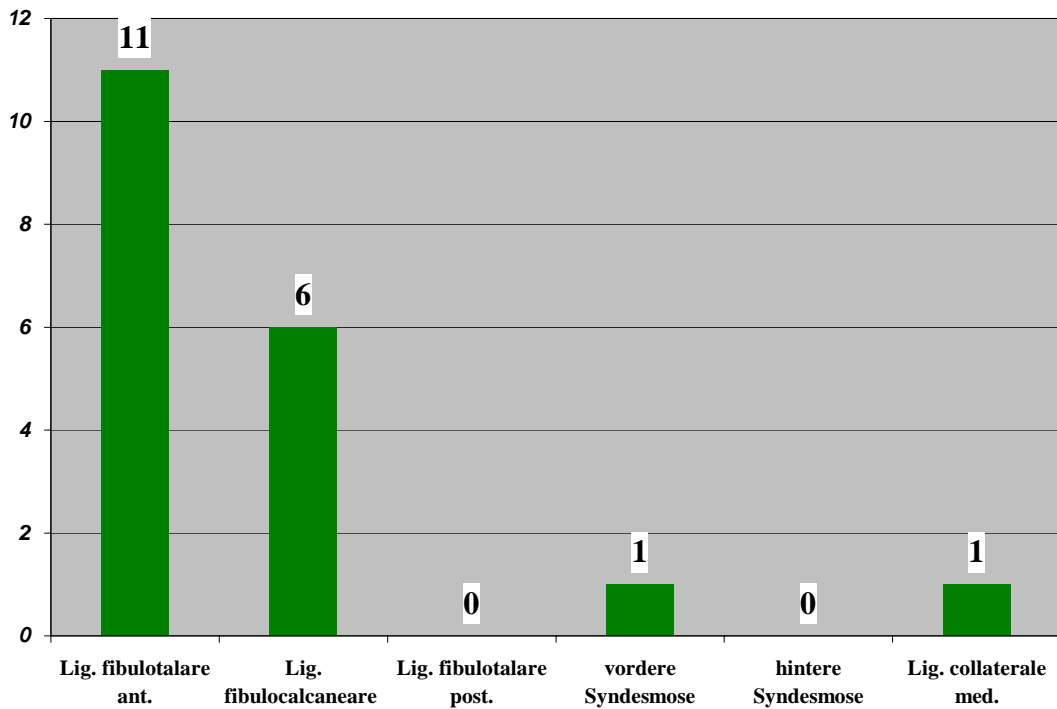


Abb. 8 Anzahl und Lokalisation der Teilrupturen im untersuchten Patientengut. Über den Säulen sind die Absolutwerte aufgetragen.

Abb. 8 und 9 verdeutlichen die Dominanz der Verletzungen des Lig. fibulotalare ant. sowohl bei Teilverletzungen (Abb.8), als auch Rupturen (Abb.9) im untersuchten Patientengut.

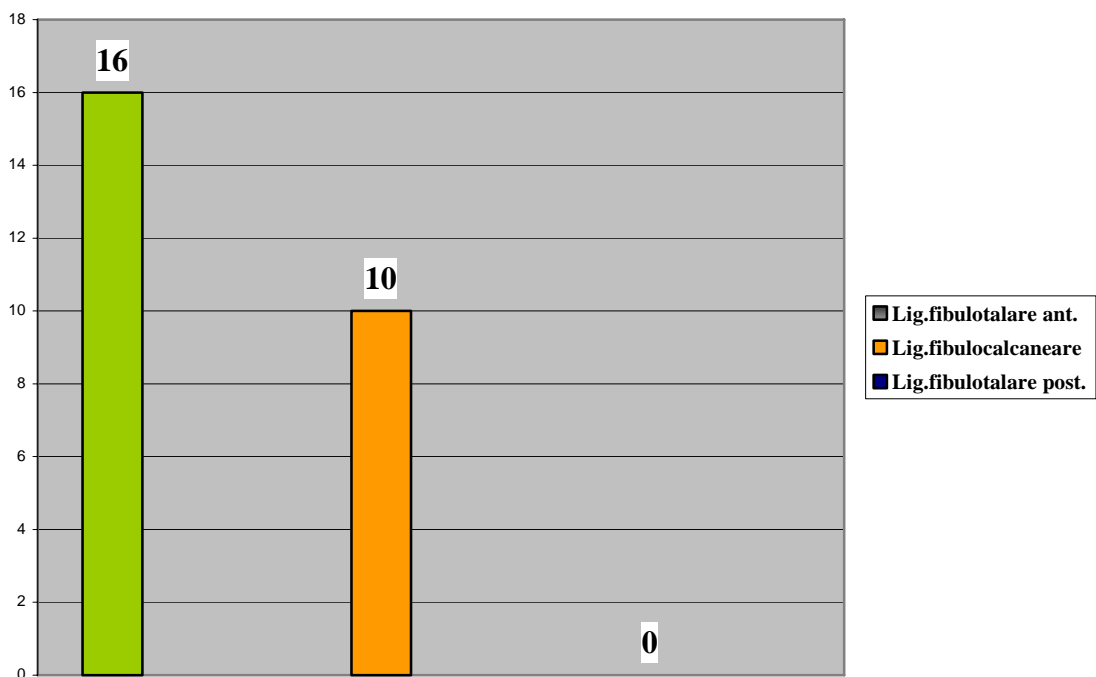


Abb. 9 Anzahl und Lokalisation lateraler Bandrupturen im untersuchten Patientengut. Auf den Säulen sind die Absolutwerte aufgetragen.



In 7 Fällen lagen gleichzeitig Rupturen von 2 Bändern vor, wobei stets das Lig. fibulotalare ant. und das Lig. fibulocalcaneare betroffen waren. Somit lagen bei 19 Patienten 26 Bandrupturen vor.

Teilläsionen von mehreren Bändern fanden sich bei 3 Patienten. Auch hierbei waren immer das Ligamentum fibulotalare ant. und das Lig. fibulocalcaneare kombiniert verletzt.

Bandrupturen fanden sich bei 5 der 10 frakturierten Sprunggelenke. Dabei waren in 3 Fällen sowohl das Lig. fibulotalare ant., als auch das Lig. fibulocalcaneare rupturiert. 2 Patienten hatten eine isolierte Ruptur des Lig. fibulocalcaneare.

7 Patienten wiesen sowohl eine Ruptur, als auch eine Teilverletzung eines anderen Bandes auf. 3 Rupturen des Lig. fibulocalcaneare waren mit Teilverletzungen des Lig. fibulotalare ant. verbunden. Bei 3 weiteren Patienten lag eine adversative Koinzidenz vor. Im Fall einer Weber-C-Fraktur waren sowohl mediales, als auch laterales Kollateralband rupturiert und die vordere Syndesmose partiell verletzt.

Eine isolierte Schädigung des Lig. fibulocalcaneare lag im Gesamtpatientengut in 2 Fällen vor. Bei diesen Patienten war ein während der Supination ein gleichzeitiges, direktes Anpralltrauma nicht auszuschließen.

### **3.4 Gelenkerguss**

Ein ausgeprägter Gelenkerguss des Sprunggelenkes ist auf der Röntgenaufnahme durch eine Verbreiterung des Weichteilmantels zu vermuten. Kleinere Ergüsse entziehen sich der Diagnostik und können somit nicht beurteilt werden. Die MRT bietet die Möglichkeit auch schon gering vermehrte Gelenkflüssigkeit sichtbar zu machen. Deshalb ist auch hier in unserer Untersuchung die MRT die Referenzmethode der Diagnostik.

Ein Gelenkerguss konnte in der Magnetresonanztomografie bei 34 Patienten (68%) gesichert werden.

Die Ergüsse waren in 24 Fällen mit Bandläsionen, in 9 Fällen mit Frakturen verbunden. Bei einem Patienten fand sich ein Erguss ohne weitere Verletzungen.

Sämtliche Gelenkfrakturen waren mit einem Erguss verbunden. Die zwei extraartikulären Weber-C-Frakturen zeigten keinen Begleiterguß.

### 3.5 Knochenödem „bone bruise“

Erst die Magnetresonanztomografie kann das Ödem des Knochenmarks und der Spongiosa beim traumatisierten Patienten sichtbar machen. In Röntgenaufnahmen ist ein Ödem nicht festzustellen.

Von den 50 untersuchten Patienten ließen sich in 21 Fällen (42%) ein oder mehrere Ödemzonen in der Magnetresonanztomografie-Untersuchung nachweisen. Diese waren wie folgt mit anderen Verletzungen verbunden:

12 von 19 Patienten (63,2%) mit Bandruptur hatten keine zusätzliche Teilruptur eines Bandes. Bei sämtlichen 12 Patienten konnte kein bone bruise nachgewiesen werden.

Entsprechend hatten 7 der 19 Patienten mit Bandruptur zusätzlich eine Teilruptur eines Bandes. Bei 4 dieser 7 Patienten konnte auch ein bone bruise nachgewiesen werden.

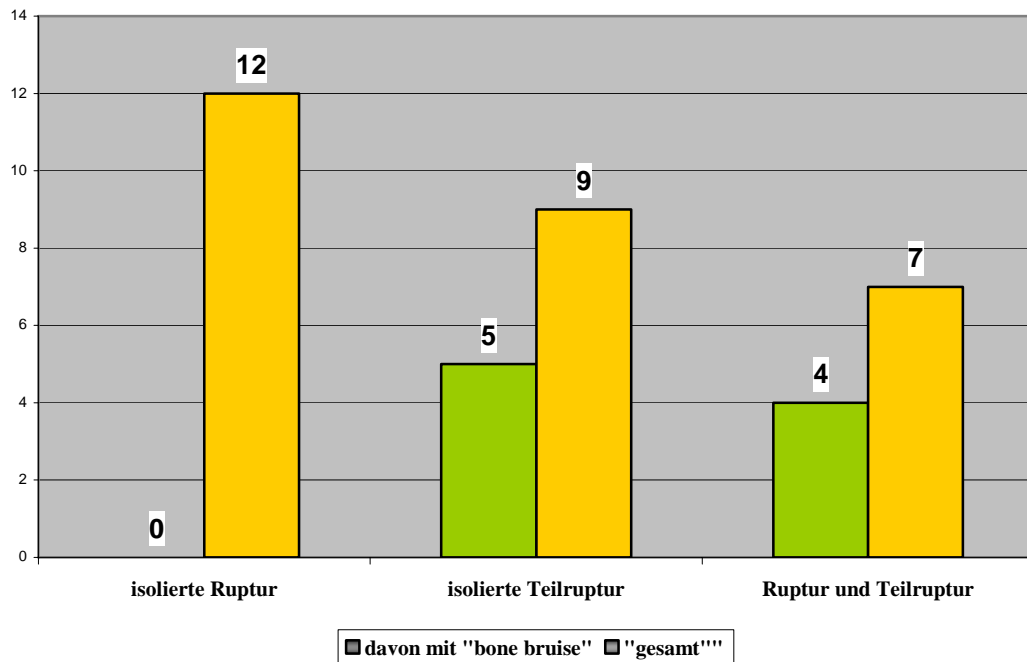


Abb. 10

Auftreten des "bone bruise" Die Abb. verdeutlicht das Auftreten der Knochenmarködeme bei isolierter Ruptur und Teilruptur, sowie bei kombinierten Bandverletzungen. Über den Säulen sind die Absolutwerte aufgetragen.

### **3.6 Änderung des Therapieregimes durch den Magnetresonanztomografie - Befund**

Als Änderung des therapeutischen Vorgehens wurde jede Modifikation der weiteren Behandlung des Patienten gewertet, welche durch den Befund der Magnetresonanztomografie bedingt war.

Insgesamt ergab sich aus dem Ergebnis der Magnetresonanztomografie verglichen mit der Therapieplanung anhand des klinischen Befundes und der Röntgenaufnahme für 23 Patienten eine Änderung des therapeutischen Vorgehens.

Durch den Ausschluss von vermuteten Bandrupturen konnten 17 Patienten früh- oder früher mobilisiert und auf die Ruhigstellung im Gips oder Cast – Verband verzichtet werden.

Aus dem Nachweis von Bandrupturen ergab sich für 6 Kinder eine Veränderung derart, dass sie anstelle eines Salbenverbandes Aircast-Schienen für 4 - 6 Wochen tragen mussten.

In keinem Fall änderte sich die Therapie für Patienten mit Frakturen, da in den Fällen, da die in den Röntgenaufnahmen nicht erkannten Frakturen keiner osteosynthetische Versorgung, sondern lediglich einer Ruhigstellung bedurften. Diese war aufgrund der Klinik des Patienten ohnedies erforderlich.

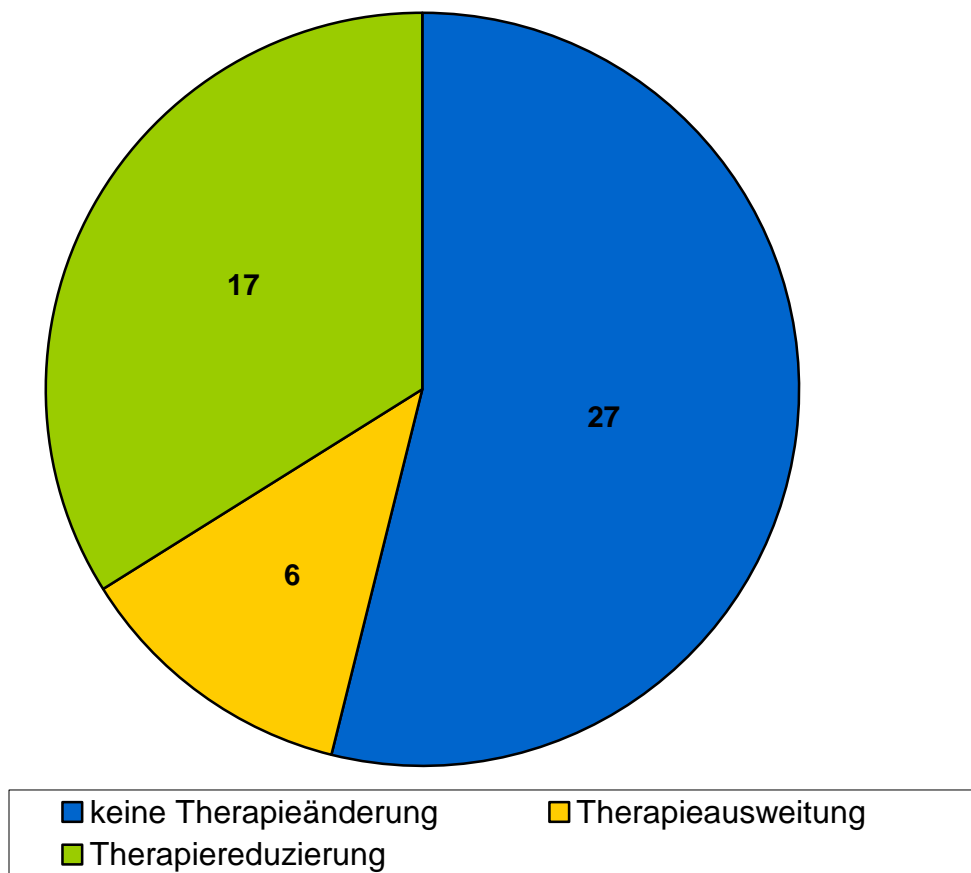


Abb. 11 Änderung des therapeutischen Vorgehens nach Ergebnis der MRT. In den Kreissektoren sind die Absolutwerte aufgetragen.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Unfallmechanismus und Epidemiologie**

Mit einer jährlichen Inzidenz von 25 % aller kindlicher Verletzungen sind Frakturen im Kindesalter häufig. Dabei ereignen sich 20-30% der Frakturen auf Spielplätzen. Sprunggelenksfrakturen stellen nach den Ellenbogenfrakturen mit einem Anteil von 4-10% die zweithäufigste Fraktur im Kindesalter dar. Der Sturz aus Höhen über 1,5 m sowie Distorsionstraumata in unwegsamem Gelände sind Hauptursachen für Frakturen bei Kindern (8-10). Hochgeschwindigkeits- bzw. Rasantraumata wie sie im Rahmen von Verkehrsunfällen vorkommen, spielen eher eine untergeordnete Rolle (9, 11).

Im Alter zwischen 5 und 12 Jahren ereignen sich die meisten Frakturen, da in diesem Lebensabschnitt ein hoher Grad an Mobilität mit einem vergleichsweise hohen Grad an körperlicher Imbalance kombiniert sind. Die Frakturhäufigkeit nimmt im Kindesalter mit zunehmendem Alter ab dem 5. Lebensjahr zu (8, 12-18). 38 % der hier untersuchten Kinder waren zwischen 6 und 12 Jahren alt.

In unserem Krankengut lag mit 24 Mädchen und 26 Knaben eine Gleichverteilung in Bezug auf das Geschlecht der Patienten vor. 29 der Traumata waren rechtsseitig, 21 linksseitig lokalisiert. Die geringe Betonung der rechten Seite war für die Auswertung im Sinne der Fragestellung des Methodenvergleichs jedoch ebenso wenig von Bedeutung wie die Geschlechtsverteilung.

Auch in der zu diesem Thema vorliegenden Literatur wird der Verteilung von Geschlecht und Körperseite keine gesonderte Bedeutung beigemessen (1, 8, 10-13, 15, 17, 19-30).

Schwierigkeiten für Diagnostik und Therapie stellen komplexe Verletzungsmechanismen, wie sie z.B. beim Sturz vom Baum vorkommen dar, da der tatsächliche, mechanische Vorgang oft nicht bewusst wahrgenommen wird. Eine Rekonstruktion des Unfallmechanismus durch den Arzt ist dann meist nur begrenzt möglich. Wirken während des Unfalls starke Kräfte, wie bei Stürzen aus großer Höhe, resultieren häufiger komplexe Frakturen (9, 16).

Bei 3 der 10 Kinder, welche in der vorliegenden Arbeit eine oder mehrere Frakturen erlitten konnte ein solches Trauma eruiert werden. Die einzige trimalleoläre Sprunggelenksfraktur resultierte aus einem Sturz aus 7 m Höhe und stellte gleichsam die komplexeste Verletzung dar.

#### **4.2 Mechanische und pathophysiologische Aspekte des Supinationstraumas**

Bei einfachen Distorsionstraumata im Sinne der Supination kippt der Fuß im oberen und unteren Sprunggelenk derart um, dass der mediale Fußrand angehoben wird. Die hierbei auftretenden Kräfte wirken somit senkrecht zur primären Bewegungsrichtung des oberen Sprunggelenkes und spreizend auf die Malleolengabel. Diese ist jedoch gelenknah durch die vordere und hintere tibio-fibularen Syndesmose, sowie durch die starken medialen und lateralen Bandkomplexe zwischen den Malleoli, Talus und Calcaneus fixiert. Zusätzlich stellt die eher als gelenkfern zu bezeichnende Membrana interossea eine hervorragende Fixierung von Fibula und Tibia dar. Übersteigt die Supinationsbewegung ein gewisses Maß, wirken an der Spitze und der Gelenkfläche des medialen Malleolus starke Druckkräfte. Gleichzeitig führt diese Bewegung zu hohen Zugkräften an sämtlichen Strukturen zwischen Fibula, lateralem Talus und lateralem Calcaneus. Insbesondere das Ligamentum fibulotalare ant. sowie das laterale Kollateralband sind dabei außerordentlichen Zugkräften ausgesetzt. Die Verkantung des Talus in der Malleolengabel und deren dadurch bedingte Spreizung führt dazu, dass auch die tibio-fibularen Syndesmosen hohen Kräften ausgesetzt sind (29).

Neben den Druck- und Zugkräften, welche an und auf die Band- sowie Kapselstrukturen wirken, liegen zusätzlich direkte Wechselwirkungen zwischen den knöchernen Gelenkpartnern vor. Die untere laterale Gelenkfläche des Talus im OSG kann in Kontakt mit der Spitze des medialen Malleolus treten. Dieses hat zur Folge, dass direkte Hebelkräfte auf den Innenknöchel wirken, welche im Extremfall zu einer Fraktur führen können. Im lateralen Gelenkkompartiment hat ein Verkippen des Talus den Kontakt zwischen oberer, lateraler Talusrolle und der distalen Fibulaepiphyse bzw. der Fugenregion zur Folge. Diese Krafteinwirkung kann bei festem lateralen Bandapparat durch einen Schermechanismus zur Epiphysiolyse an der distalen Fibula führen. Die auftretenden Scherkräfte müssen dabei über Bandstrukturen und die

Knochen abgeleitet werden. Übersteigen diese Kräfte jedoch die Druck- und vor allem Zugbelastungsgrenzen, kommt es zur Bandläsion und/ oder Fraktur (17, 31).

Die Evaluierung und Rekonstruktion des Unfallhergangs durch den primär versorgenden Arzt ist für die klinische Beurteilung von Bedeutung und stellt für die Auswertung der bildgebenden Verfahren insbesondere für die Magnetresonanztomografie eine große Hilfe dar.

### **4.3 Klinische Diagnostik beim Sprunggelenkstrauma**

Die Mehrzahl der Kinder mit Supinationstrauma wurde am Unfalltag ärztlich vorgestellt, da der unfallbedingte Funktionsausfall der Extremität spürbar ist und eine starke Einschränkung der Mobilität für den Betroffenen bedeutet. Zudem führen die auftretenden Schmerzen den Patienten in die Unfallambulanz. Die Patienten haben das Gefühl eine „ernste Verletzung“ zu haben. Schulpflichtige Kindern wurden im Rahmen der Berufsgenossenschaftlichen Heilverfahren durch einen Notarzt in der Klinik vorgestellt.

Die beim Supinationstrauma immer wiederkehrenden Angaben sind das Umknicken in verschiedener Ausprägung meist mit angehobener, medialer Fußkante. Oft liegt eine Imbalance in der Art vor, dass der betroffene Fuß nicht komplett auf einer Fläche stand, sondern durch Hindernisse des Geländes eine „unsichere“ Stellung bezüglich des Untergrundes aufwies.

38% der von uns untersuchten Kinder gaben an, sich zum Unfallzeitpunkt nicht auf ebenem Gelände bewegt zu haben.

Beim Kind kommen durch die höhere Mobilität komplexe Bewegungsabläufe zustande, welche große dynamische und mechanische Anforderungen an das Sprunggelenk stellen. So kann es z.B. beim Sprung vom Klettergerüst zum Umknicken kommen. Die dabei wirkenden Kräfte sind um ein mehrfaches höher, als beim Umknicken beim Gehen (32, 33). Zusätzliche Mechanismen durch direkte Anpralltraumata z.B. beim Herabstürzen von einer Treppe erschweren die sichere Rekonstruktion des Unfallhergangs. Kausale Zusammenhänge von Trauma und Verletzungsfolge sind dann meist nicht mehr eindeutig zu klären.

Entsprechend dem mechanischen Vorgang des Umknickens im Supinationssinn liegt bei nahezu jedem Patienten akut eine Schwellung und eine mehr oder minder ausgeprägtes Hämatom im Bereich des oberen Sprunggelenkes vor. Die Betonung findet sich zumeist lateral. Bilaterale Schwellungen, den Aussen- und Innenknöchel betreffend, schließen eine isolierte Verletzung des äußeren oder inneren Gelenkkompartimentes jedoch nicht aus, da sich durch entsprechende Ruhigstellung und Lagerung sowohl Hämatom verlagern, als auch Weichteilödem diffus verteilen kann. Die Schwellung ist primär visuell erkennbar (34).

Man kann eine ödembedingte von einer hämatombedingten, sowie einer Schwellung durch einen hämatombedingten bzw. Reizgelenkerguss unterscheiden. Ödembedingt bedeutet hierbei lediglich eine diffuse Schwellung ohne Weichteilhämatom, am ehesten zurückzuführen auf eine Flüssigkeitseinlagerung ins Gewebe. Ein Hämatom dagegen entspricht der fokalen und diffusen Einblutung im Gebiet um die bedingende Läsion. Das Hämatom stellt dadurch einen Prediktor für Bandrupturen und Frakturen dar (35-37).

Von 19 Patienten mit Bandruptur wiesen 17 (89.5%) bei Vorstellung in der kinderchirurgischen Ambulanz unserer Klinik ein Hämatom am Außenknöchel auf.

Der Gelenkerguß ist weder ein eineindeutiges Zeichen für eine Fraktur, noch für eine Bandläsion, da er auch isoliert vorkommen kann. Eine Unterscheidung zum Ödem gelingt nur bei ausgeprägten Befunden durch den prallelastischen Aspekt beim Tasten. Die Verbindung von Gelenkerguss zu Bandrupturen und Frakturen bedeutet einen guten Vorhersagewert (26, 34, 38). Jedoch ist die klinische Prüfung insbesondere kleinerer Gelenkergüsse in Überlagerung mit der Weichteilschwellung oft nicht möglich.

Die lokale Druckschmerzhaftigkeit ist auch beim Supinationstrauma ein direktes Zeichen einer fokalen Läsion. Die klinische Prüfung derselben wird von manchen Autoren aufgrund der geringen Therapierelevanz für den ohnehin schmerzgeplagten Patienten als nicht indiziert angesehen (38). Ungeachtet dessen stellt die lokale Druckschmerzhaftigkeit z.B. am lateralen Malleolus und/ oder ventral desselben einen spezifischen Hinweis für eine Läsion des Ligamentum fibulotalare ant. oder des



Ligamentum fibulocalcanearum dar. Die Differenzierung zwischen Bandläsion mit oder ohne Knochenbeteiligung und isolierter Fraktur ist jedoch nicht sicher möglich.

Alle von uns untersuchten Kinder mit nachgewiesener Bandruptur hatten betont Schmerzen über dem später als rupturiert nachgewiesenen Band.

Andererseits konnte bei allen Kindern, welche weder eine Schwellung, noch einen Schmerzpunkt aufwiesen, auch keine Fraktur oder Bandläsion mittels MRT nachgewiesen werden.

Fehlen Schwellung und lokaler Schmerzpunkt, ist eine Bandruptur oder Fraktur nahezu auszugeschlossen. Eine weiterführende bildgebende Diagnostik ist dann nicht nötig.

Somit kann durch die Erhebung der Schmerzanamnese und die klinische Untersuchung einerseits die Lokalisation eingegrenzt werden, andererseits lässt sich das Ausmaß der Verletzung abschätzen.

Eine Frakturdiagnostik anhand von direkten Frakturzeichen ist insbesondere beim Kind als obsolet anzusehen, da mittels Röntgenaufnahme und Magnetresonanztomografie bildgebende und zugleich schmerzfreie Verfahren existieren, welche nicht nur eine Aussage in Bezug auf Vorliegen oder Ausschluss einer Fraktur oder Bandläsion, sondern auch eine Differenzierung des Frakturtyps ermöglichen (22, 38) .

#### **4.3.1 Bandverletzungen**

Bandläsionen weisen nach von LAER in der Wachstumsphase Besonderheiten auf. Bei noch weit offener Wachstumsfuge kommt es in 80 % der Fälle zum Ausriss aus der distalen Fibula wobei das Band selbst intakt bleibt. Hiervon haben wiederum ca. 50 % der Fälle knöcherne Ausrisse. Die andere Hälfte der Bandläsionen entspricht periostalen und kartilaginären Ausrissen. Lediglich 20 % der Bandläsionen bei offenen Fugen werden als echte intraligamentäre Rupturen beschrieben. Vergleicht man damit die Bandrupturen bei zunehmendem Schluss der Wachstumsfuge findet sich eine gegensätzliche Situation: In nur noch 20 % der Fälle kommt ein Bandausriss mit intaktem Band zur Darstellung. Dagegen finden sich in ca. 80 % intraligamentäre Risse des Ligamentum fibulotalare ant. (38).

Im untersuchten Patientenkollektiv wiesen 19 Kinder eine oder mehrfache Bandrupturen auf. Das durchschnittliche Alter betrug 13 Jahre und 9 Monate. Sämtliche Patienten hatten noch offene Epiphysenfugen. Vollständig offene Fugen wiesen jedoch nur 3 der 19 Patienten auf. Eine Zuordnung der ligamentären Verletzung war mittels Magnetresonanztomografie aufgrund ausgeprägter Ergussbildung und der überwiegend intraligamentären Rupturen eindeutig möglich. Es konnten distale von proximalen Bandausrissen und intraligamentären Verletzungen exakt differenziert werden. 3 der 12 diagnostizierten Frakturen konnten einem knöchernen Bandausriss zugeordnet werden.

Nach LAZARUS ist die im Rahmen eines Supinationstraumas ablaufende Reihenfolge der Bandläsionen nahezu immer gleich und verläuft in antero-posteriorer Richtung. Das Ligamentum fibulotalare ant. und damit die vorderen Kapselstrukturen rupturieren zuerst, gefolgt vom Ligamentum fibulocalcaneare im hinteren Kapselbereich. Das Ligamentum fibulotalare post. wird extrem selten verletzt (35).

Von den 50 untersuchten Kindern hatten 32 % eine Ruptur und 22% Teilrupturen des Ligamentum fibulotalare ant.. Dieses Band war damit die am häufigsten verletzte Bandstruktur. Das Ligamentum fibulocalcaneare war bei 20 % der Kinder rupturiert und bei 12% teilrupturiert. Eine Verletzung des Ligamentum fibulotalare post. konnten wir in keinem Fall feststellen.

#### **4.3.2 Frakturen**

Ausgehend von der Definition des Frakturbegriffes stellt jede Kontinuitätsunterbrechung eines Knochens durch äußere Krafteinwirkung eine Fraktur dar. Hierbei wird weder Lokalisation noch Ausdehnung gesondert berücksichtigt. Somit stellt auch der bevorzugt in der ersten Lebensdekade auftretende knöcherne Bandausriss eine Fraktur dar, die Avulsionsfraktur. Bezogen auf das wachsende Skelett entspricht die Avulsionsfraktur einer Epiphysenfraktur ohne Fugenbeteiligung. Zu einer Beeinflussung des Wachstums kommt es somit nicht (22).

Frakturen, welche die Fuge involvieren, werden am wachsenden Skelett nach ihrer Beziehung zu dieser klassifiziert. Diese nehmen eine außerordentliche Stellung ein, da sie wesentliche Folgen für die Entwicklung der betroffenen Extremität haben können (39).

Von Salter und Harris wurden 1963 erstmals Wachstumsfugenfrakturen klassifiziert und 5 Typen der Epiphysenfraktur wie folgt definiert:

- Typ I entspricht der Epiphysenlösung ohne Knochenbeteiligung,
- Typ II entspricht einer Epiphysenlösung mit metaphysärem Fragment,
- Typ III entspricht einer Epiphysenfraktur, die bis zur Fuge reicht und diese einbezieht,
- Typ IV entspricht einer Fraktur, welche vom Gelenkspalt ausgeht und die Wachstumsfuge überquert sowie
- Typ V entspricht einer partiellen Kompression der Fuge mit Gefahr des vorzeitigen Fugenschlusses.

Die von Salter und Harris 1963 beschriebene Fraktуреinteilung der Epiphysenfrakturen ist der 1965 von Aitken vorgestellten bis auf die Bezeichnung der Stadien gleichzusetzen. Aitkens Einteilung benennt die Epiphysenlösung und die Epiphysenstauchung ohne diese zu beziffern. Der Frakturtyp Aitken I entspricht der Typ II – Fraktur der Salter und Harris – Klassifikation etc. (40). Beide Klassifikationen sind im klinischen Alltag integriert und werden alternativ verwendet (2, 8, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 26, 28, 30, 41-48).

Die genannten Frakturklassifikationen beschreiben die Verläufe der Frakturen und deren Lokalisation, beinhalten jedoch keine Aussage über den Grad der Dislokation der Fragmente. Eine alleinige Beschreibung der Fraktur nach Salter und Harris bzw. Aitken ist demnach unzureichend und bedarf der zusätzlichen Angabe über das Ausmaß der Dislokation (22).

Lediglich 2 der 13 in unserem Patientenkollektiv nachgewiesenen Frakturen zeigten behandlungsbedürftige Dislokationen. Beide Dislokationen betrafen Avulsionsfrakturen im Rahmen der trimalleolären Fraktur. Hier waren die knöchernen Fragmente derart disloziert, dass eine Korrektur nötig war, um eine sekundäre Gelenkverletzung zu vermeiden.



Abb. 12 Die coronare Rekonstruktion der CT demonstriert ein disloziertes Abrissfragment am medialen Malleolus.

Frakturen, welche sehr nahe der Wachstumsfuge verlaufen, haben laut von Laer ebenso wie solche, welche diese einbeziehen, eine Auswirkung auf die Fuge und damit das Längenwachstum des betroffenen Knochens (2, 48). Das Ausmaß ist vom Verlauf sowie der Dislokation der Fraktur und dem Alter des Kindes abhängig. Das Hauptproblem nach Fugenverletzungen an der unteren Extremität sind die Wachstumsstörungen durch einen vorzeitigen partiellen oder vollständigen Verschluss der Fuge. Diese werden in der Literatur mit 20 – 30 % der Fälle als häufige Komplikation beschrieben. Vor dem 10. Lebensjahr kann die im Rahmen der Fraktur auftretende posttraumatische Hyperämie in der Fugenregion zu einer Stimulation und damit zu einer Längenzunahme des Knochens kommen. Nach dem 10. Lebensjahr ist der vorzeitige Fugenschluss mit entsprechender Längenverkürzung des Knochens häufiger(2, 30, 31, 48, 49).

11 der insgesamt 13 Frakturen in dieser Arbeit sind als Gelenkfrakturen zu bezeichnen. Davon konnten 4 als Epiphysenfugenfrakturen klassifiziert werden. 2 der Kinder waren zum Unfallzeitpunkt jünger als 10 Jahre (5,6 und 9,8 Jahre). Eine Fugenstauchung im Sinne einer Fraktur vom Typ V nach Salter und Harris lag bei einem Mädchen mit noch offenen Fugen und einem Alter von 14,4 Jahren vor. Eine weitere Gelenkfraktur vom Typ III nach Salter und Harris fand sich bei einem 11,7 Jahre alten Mädchen. Die 2 Weber-C-Frakturen waren extraartikulär lokalisiert.

Die Beurteilung möglicher Wachstumsstörungen war nicht Ziel dieser Arbeit, deshalb wurden zu dieser Problematik keine gezielten Untersuchungen angestellt. In den dem Autor zur Verfügung stehenden kurzfristigen Verlaufsaufnahmen ist dessen ungeachtet bisher keine Wachstumsstörung nachweisbar.

Der Häufigkeitsgipfel von Epiphysenfrakturen liegt zwischen 5. und 9. Lebensjahr, der für Epiphysenlösungen bedingt durch hormonelle Umstellungen um das 13. Lebensjahr (17). Unsere Ergebnisse bestätigen diese Angaben. Mit einem Alter von 5,5 und 11,5 Jahren lassen sich die Epiphysenfrakturen dem mittleren Drittel des Wachstumsalters zuordnen, wohingegen die Frakturen ohne Fugenbeteiligung im Alter zwischen 8,1 und 15,8 Jahren (Median 11,8 Jahre) auftraten und somit eher dem letzten Abschnitt des Wachstumsalters entsprechen.

#### **4.4 Röntgendiagnostik des Sprunggelenkes**

1895 stellte Konrad Röntgen seine Entdeckung, die „X-Strahlen“, der Öffentlichkeit vor. Das Prinzip der Röntgenstrahlenerzeugung hat sich bis heute nicht wesentlich geändert.

##### **4.4.1 Technik und Methode**

Beim Durchdringen des Sprunggelenkes werden die Röntgenstrahlen komplett absorbiert oder in ihrer Energie geschwächt. Die Abschwächung ist von den enthaltenen Atomen abhängig. Atome mit hoher Ordnungszahl wie Kalzium führen zu stärkerer, solche mit kleiner Ordnungszahl wie Sauerstoff oder Kohlenstoff zu geringerer Absorption. Für Mischsubstanzen z.B. Gewebe existieren effektive Ordnungszahlen. Die effektive Ordnungszahl von Wasser als Hauptgewebsanteil des Körpers beträgt

7.4, die von Muskulatur 7.5 und die von Knochen 15.0 . Diese Eigenschaft führt dazu, dass Gewebe, die Luft, Wasser, Fett oder Kalzium enthalten, im Röntgenbild unterschieden werden können.

Demnach kann man auf Röntgenaufnahmen Knochen von Fett, Bindegewebe und Muskulatur sehr gut differenzieren. Gewebsstrukturen wie Bänder oder Sehnen dagegen sind untereinander und gegenüber Fett oder Muskulatur nicht gut voneinander zu trennen.

#### **4.4.2 Das Röntgenbild des kindlichen Sprunggelenkes**

Für die Diagnostik von Verletzungen des Knochens ist die Röntgenaufnahme ein schnelles Verfahren mit hoher Aussagekraft und breiter Verfügbarkeit. Zugleich stellt die Methode das bildgebende Verfahren mit der höchsten Detailauflösung für feine Knochenstrukturen dar (50).

Außerdem sind nahezu alle behandelnden Ärzte mit der Beurteilung von Röntgenaufnahmen des Skeletts vertraut, was für den Routineablauf in einer chirurgischen Ambulanz von großer Bedeutung ist.

Eine Besonderheit der röntgenologischen Abbildung eines Objektes ist durch die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen bedingt. Sie führt dazu, dass ein dreidimensionales Gebilde nicht nur in seiner Breite und Höhe, sondern auch in seiner Tiefe auf dem zweidimensionalen Röntgenbild wiedergegeben wird. Diese Transparenz bringt es mit sich, dass hintereinanderliegende Strukturen ein und den selben Bildpunkt auf dem Film einnehmen, also überlagert dargestellt und fehlinterpretiert werden können. Jenes Problem zu lösen, verfolgt der Grundsatz der Röntgenaufnahmetechnik, Skelettabschnitte immer in 2 möglichst senkrecht zueinander stehenden Ebenen abzubilden. Frakturen können aber auch in 2 Ebenen schwer erkennbar sein. Grund dafür ist die Tatsache, dass sie am deutlichsten auffallen, wenn der komplette Frakturspalt parallel zur Strahlenrichtung verläuft. Dies ist jedoch selten der Fall.

Auch am kindlichen Sprunggelenk ist die Röntgenaufnahme bis heute unentbehrlich für die Primärdiagnostik beim Frakturverdacht (18).

Das angestrebte Ziel, die Aufnahmen in den üblichen 2 Standardebenen im anteroposterioren und seitlichen Strahlengang in immer gleicher Qualität anzufertigen, wird

im frühen Kindesalter nicht immer erreicht. Die jungen Patienten sind sowohl körperlich, als auch psychisch traumatisiert und haben neben Schmerzen unterschiedlichen Ausmaßes nicht zu unterschätzende Ängste. Die Patienten-Compliance hat daher erheblichen Einfluß auf die Qualität der Röntgenaufnahme.

Die gute Einsicht des fibulotalaren Gelenkspaltes in der leicht innengedrehten antero-posterioren Aufnahme kann zu einer geringen Überlagerung des medialen Gelenkspaltes führen und somit die Beurteilung des Innenknöchels erschweren. Innenknöchelfrakturen an typischer Stelle, also in sagittaler Ebene der Tibia verlaufend, können infolgedessen schlechter abgrenzbar sein und übersehen werden. Um den medialen Gelenkspalt voll einsehen zu können, müsste der Fuß senkrecht zum Film gelagert und auf die leichte Innenrotation verzichtet werden. In diesem Strahlengang projiziert sich jedoch die Fibula in die Tibia, was dazu führt, dass kleinere knöcherne Ausrisse der Fibula übersehen werden können.

In dem von uns untersuchten Krankengut konnten Frakturen bei 3 Patienten (6%) nicht auf der Röntgenaufnahme nachgewiesen werden. Diese betrafen im ersten Fall die Tibiahinterkante (Salter-Harris IV), im zweiten Fall die distale Fibula (Salter-Harris V), wobei diese Fugenstauchung keine Fraktur im engeren Sinne darstellt, da keine Knochen- sondern eine Knorpelverletzung vorliegt und im dritten Fall eine nicht dislozierte Fraktur des Malleolus medialis ohne Fugenbeteiligung.

Bei letzterer Patientin wurde unbeabsichtigt primär eine streng antero-posteriore Aufnahme angefertigt, da die Patient COMPLIANCE gering war. Auch auf dieser ist der Innenknöchel völlig unauffällig dargestellt.

Möglicherweise hätte in diesem Fall eine Wiederholungsaufnahme in üblicher, leichter Innenrotation einen diagnostischen Zugewinn gebracht. Darüber wann und wie oft eine Röntgenaufnahme bei eher geringer Fehlprojektion insbesondere beim Kind wiederholt werden sollte, lassen sich keine Aussagen in der Literatur finden. Auch retrospektiv und unter Kenntnis des Befundes der Magnetresonanztomografie ist die Fraktur auf den Röntgenaufnahmen nicht nachweisbar.

Die distale, dorsale Tibiafraktur (Volkman-Fraktur) ließ sich auf den Röntgenaufnahmen nicht abgrenzen und auch unter Kenntnis der Befunde aus der Magnetresonanztomografie retrospektiv nur erahnen. (Abb.13 a-c)

In unserer Klinik wird die streng antero-posteriore Aufnahme nicht standardmäßig durchgeführt.

#### **4.4.3 Diagnostik von Bandverletzungen mittels Röntgenaufnahme**

In der vorliegenden Arbeit konnte 1 Avulsionsfraktur als Korrelat eines Bandausrisses nachgewiesen und mittels Magnetresonanztomografie bestätigt werden. Diese betraf das Ligamentum fibulotalare ant.. Der Anteil der Bandrupturen, welche mit der Röntgenaufnahme nachweisbar waren, ist mit 1 von 26 durch die Magnetresonanztomografie gesicherten Rupturen (3,8 %) minimal.

Eine nichtinvasive Beurteilung von Kapsel- und Bandstrukturen ist mittels Röntgenaufnahme nicht möglich. Liegt ein knöcherner Ausriss an typischer Stelle vor, kann die Diagnose eines Bandausrisses anhand des Röntgenbildes gestellt werden.

Zur Diagnostik von Bandverletzungen mittels Röntgenaufnahme existieren Stressaufnahmetechniken. Hierbei werden Fuß und Unterschenkel in eine Vorrichtung eingespannt. Für die Prüfung des Ligamentum fibulocalcaneare wird ein Suppinationsstress von bis zu 15 kp erzeugt und eine antero-posteriore Aufnahme angefertigt. Zur Prüfung des Ligamentum fibulotalare ant. erfolgt die Aufnahme in frontalem Strahlengang während der Erzeugung einer anteroposterioren Krafteinwirkung von etwa 15 kp. Für „gehaltene Aufnahmen“ erwachsener Patienten sind Grenzwerte und Messbereiche für die Auswertung der Röntgenaufnahmen bekannt (23, 33, 42, 51).

Über gehaltene Aufnahmen im Kindesalter existieren ältere Arbeiten, in denen versucht wurde, Normalwerte zu bestimmen (23, 33). Schwierigkeiten bereitet sowohl die Evaluation der maximalen Kraftanwendung am kindlichen Sprunggelenk, als auch die Auswertung der angefertigten Aufnahmen. Die interindividuelle und intraindividuelle Varianz der Laxität der Bänder macht die Festlegung von Grenzwerten schwierig (35, 38).

Gegen die Anfertigung gehaltener Aufnahmen im Kindesalter sprechen verschiedene Gründe:

1. Der Aussagewert im Wachstumsalter und der diagnostischer Zugewinn im Verhältnis zu den dabei auftretenden Schmerzen und der denkbaren



Verschlechterung einer möglicherweise vorhandenen, okkulten Fraktur ist gering.

2. Sowohl die unphysiologische Belastung der im Wachstumsalter noch offenen Wachstumsfugen und die Gefahr der iatrogenen Fugenverletzung sind nicht zu unterschätzen.
3. Die im Kindesalter vorhandene, inter- und intraindividuell differierende Bandlaxität stellt einen Unsicherheitsfaktor für die Beurteilung der gehaltenen Aufnahmen dar, da sichere Absolutwerte und messbare Grenzen zur Klassifizierung einer Verletzung am Röntgenbild nicht existieren (35).

In unserer Einrichtung wird aus diesen Gründen bei Kindern bis zum vollendeten 16. Lebensjahr auf die Anfertigung gehaltener Aufnahmen des oberen Sprunggelenkes nach Distorsionstraumata verzichtet.

Teilrupturen von Gelenkbändern lassen sich in der Röntgenaufnahme des Sprunggelenkes ebenfalls nicht diagnostizieren. Hingegen bietet die Magnetresonanztomografie die Möglichkeit der exakten Beurteilung der Bänder auch hinsichtlich Teilverletzungen (4-7, 36, 37, 44, 52, 53).

So konnten 19 Teilrupturen von Bändern gezeigt werden, deren Nachweis sich der Röntgenaufnahme komplett entzieht. (Tab. 3)

Die klinische Relevanz der Diagnose einer Bandteilverletzung am oberen Sprunggelenk ist derzeit noch nicht sicher abzuschätzen. In wie fern Teilverletzungen von Bändern mit Teilinstabilitäten verbunden sind und welche Rolle diese eventuell für die Entwicklung einer Arthrose spielen, bedarf gesondert Langzeitkontrollen.

#### **4.5 Diagnostik mittels Magnetresonanztomografie**

Die Differenzierbarkeit von Geweben mit unterschiedlichen Wassergehalten ist mittels MRT sehr hoch. Betrachtet man MRT-Aufnahmen lassen, sich Gewebe unterschiedlicher Organe mit hoher örtlicher Auflösung trennen. Muskulatur ist im Gegensatz zur Röntgenaufnahme eindeutig von subkutanem Fett oder Bindegewebe wie Bänder und Sehnen zu differenzieren. Gesunder Knochen stellt sich in allen Sequenzen nahezu signallos dar. Dieser Zustand liegt in dem niedrigen Wassergehalt bzw. dem völligen Fehlen von Wasser im Knochen begründet. Die MRT hat durch die

Möglichkeit Knochen und Knochenmark gleichzeitig betrachten zu können völlig neue Perspektiven für die Skelettdiagnostik eröffnet. Bänder und Gelenkknorpel sind durch die nichtinvasive MR-Bildgebung beurteilbar geworden.

Sequenzen, welche stark T2 gewichtet und fettgesättigt sind, weisen eine hohe Sensitivität für Knochenmarködeme auf. Diese kommen mit hohem Signal zur Abbildung. Gleichmaßen lassen sich in diesen Aufnahmen Bandstrukturen exakt beurteilen, da deren Wassergehalt entsprechend dem hohen Anteil von Kollagen gering ist. Intakte Bänder sind folglich signalarm in T1 – und T2 Wichtungen. Kommt es zur Überlastung von Band- und Kapsel, erhöht sich deren Wassergehalt. Dadurch steigt das Signal in den T2 gewichteten Aufnahmen und verringert sich in den T1 gewichteten Sequenzen (36, 37, 53).

In der vorliegenden Untersuchung wurden alle pathologischen Veränderungen und wegweisende Signalauffälligkeiten in der T2 gewichteten tirm-Sequenz mit Fettunterdrückung nachgewiesen. Hingegen war die Aussagekraft der verwendeten T1 gewichteten Sequenz gering. Lagen Weichteilödem und Erguss vor, konnten Bandstrukturen in der T1 gewichteten Sequenz nicht abgegrenzt werden. Die hohe Aussagekraft der verwendeten T2 tirm Sequenz für die Abgrenzbarkeit von Bändern, Gelenkerguss, Kapselstrukturen, Knochenödem und Frakturen prädestiniert diese für die Verwendung als Suchsequenz in der Diagnostik akuter Verletzungen des oberen Sprunggelenkes beim Kind.

#### **4.5.1 Frakturdiagnostik mittels Magnetresonanztomografie**

Unmittelbar posttraumatisch kommt es zu einer drastischen Zunahme des Flüssigkeitsgehaltes durch Einblutung und Ödem im sonst nahezu wasserfreien Knochengewebe. Dieser erhöhte Flüssigkeitsgehalt hat gegenüber unverletztem Knochen eine enorme Signalerhöhung in der T2 - Wichtung zur Folge. Signalveränderungen im geschädigten Knochen fallen beim Auswerten stark T2 gewichteter Aufnahmen aufgrund des erhöhten Wassergehalts hervorragend auf.

Dadurch stellen sich Frakturen in der MRT primär nicht nur als Kortikalisunterbrechung des Knochens dar, sondern werden auch durch den hohen Flüssigkeitsgehalt im Frakturspalt und dessen Umgebung sichtbar. Dieser Umstand

prädestiniert die MRT als Methode zur Diagnostik auch okkulten Frakturen, welche sich nicht primär darstellen (5, 29, 36, 37, 45, 52, 54).

Für die Frakturdiagnostik anhand der Kortikalisunterbrechung erwies sich die Magnetresonanztomografie in der vorliegenden Arbeit als eine der Röntgenaufnahme zumindest gleichwertige Methode. Insgesamt ließen sich von den 13 Frakturen mittels Magnetresonanztomografie 9 Frakturen anhand einer Kortikalisunterbrechung nachweisen. Auf den Röntgenaufnahmen wurden durch dieses Kriterium 8 Frakturen aufgedeckt.

Der Vorteil der Magnetresonanztomografie liegt hierbei in der besseren räumlichen Auflösung als Schnittbildverfahren begründet. Frakturen und Kompaktaunterbrechungen können durch die Summation der Strukturen in der Röntgenaufnahme trotz Anfertigung von 2 Ebenen unerkannt bleiben.

So konnte eine Epiphysenfraktur der Fibula nicht nachgewiesen werden, da die Frakturlinie in paracoronarer Ebene schräg verlief. (Abb.13a-c) Aufgrund der fehlenden Dislokation war die Fraktur in der antero-posterioren Aufnahme nicht nachweisbar und blieb auf der seitlichen Aufnahme durch die Überlagerung von Talus und medialem Malleolus unentdeckt. In der Magnetresonanztomografie stellte sich die Fraktur eindeutig dar, da ein Überlagerungseffekt ausgeschlossen ist.



Abbildungen 13 a-c Epiphysenfraktur der Fibula vom Typ Salter und Harris III

In den Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen (Abb. 13 a, b) war die Fraktur nicht zu erkennen. In der sagitalen Schichtführung der DESS 3D Sequenz (Abb. 13c) kommt die Fraktur eindeutig zur Darstellung.

Auffällig ist, dass 3 der in der Röntgenaufnahme nicht erkannten Frakturen Epiphysenfugenbezug hatten. Dies liegt am ehesten darin begründet, dass die Fugenregion insbesondere in der seitlichen Röntgenaufnahme durch mehr Summationseffekte belastet ist, was eine Beurteilung erschwert. Bei korrekter Einstelltechnik kommt erschwerend hinzu, dass sich die distale Fibula und die Tibiahinterkante überlagern. Diese Tatsache kann die Diagnostik eines Volkmann`schen - Dreiecks behindern. (Abb. 14 a und b)

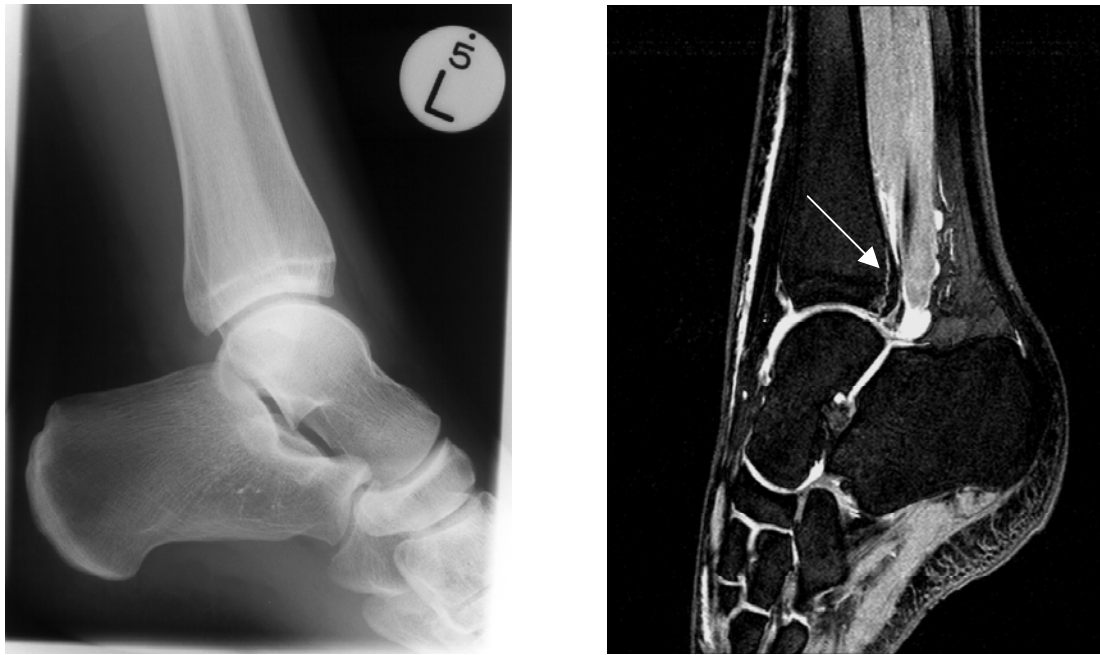


Abb. 14 a und b Volkmann´sche Fraktur der Tibia

Auf Abb. 14a (OSG seitlich) ist weder ein direktes, noch ein indirektes Frakturzeichen erkennbar. Die hochauflösende DESS 3D Sequenz (Abb. 14b) verdeutlicht in sagittaler Schichtführung den exakten Frakturverlauf.

Klein knöcherne Fragmente sind schwierig mittels Magnetresonanztomografie abzugrenzen. Der Nachweis dieser Avulsionen ist nur unter Verwendung hochauflösender Sequenzen möglich, welche eine Schichtdicke um 1 mm ermöglichen.

Die in dieser Untersuchung verwendete DESS-Sequenz ergab Schichtbilder von 1.2 mm Dicke. Zu beachten ist hierbei, dass die Abgrenzbarkeit von Kleinstfragmenten nur präzise gelingt, wenn das zu beurteilende Fragment orthograd zur Schnittebene liegt. Prinzipiell bietet die Magnetresonanztomografie die Möglichkeit der freien Wählbarkeit der Schnittführung. Dies hat jedoch nur dann Erfolg, wenn bei der Planung der Tomographie bereits feststeht, welche Strukturen exakt dargestellt werden sollen.

Dieser Umstand ist der Grund dafür, dass bei einem Patienten mit trimalleolärer Fraktur ein Avulsionsfragment, welches in sagittaler Ebene lag, aufgrund seiner Größe in den transversalen Schichtbildern als Artefakt fehlgedeutet und in den sagittalen Schichtbildern nicht dargestellt wurde.

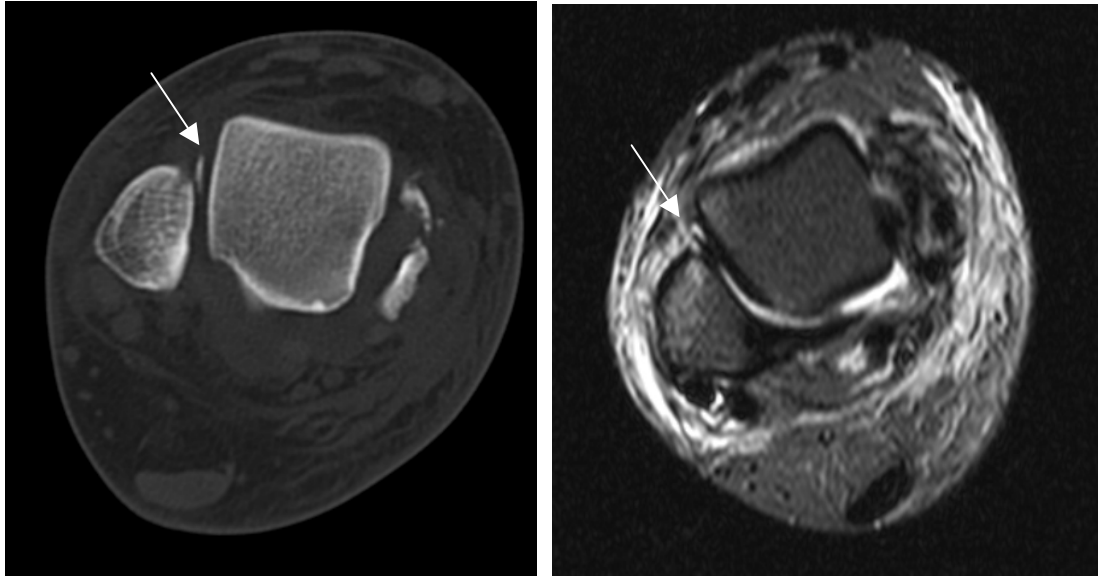


Abb. 15 a und b Kleinfragment der Fibula bei komplexer trimalleolärer Fraktur

Abb. 15a demonstriert das CT-Bild eines schuppenförmigen Fragmentes der Fibula. Abb. 15b zeigt das Korrelat der Fraktur in der MRT (T2 TIRM) in gleicher Schichthöhe.

Auf den Röntgenaufnahmen war die Struktur aber ebenfalls nicht abgrenzbar.

In diesem Fall wurde aufgrund der Fragmentdislokation zur Planung einer osteosynthetischen Rekonstruktion der Gelenkflächen eine Computertomographie angefertigt. Diese demonstrierte das bis dahin nicht gesehene Fragment der Fibula. Eine Konsequenz für das weitere Vorgehen ergab sich daraus jedoch nicht, da eine Fixierung des Fragmentes nicht möglich und die natürliche Konsolidierung zu erwarten war. (Abb. 15 a,b)

Einen großen Vorteil in der Frakturdiagnostik hat die Magnetresonanztomografie bei der Darstellung von Frakturlinien. 12 der 13 Frakturen im Patientengut wurden durch Frakturlinien erfasst. Im Gegensatz dazu konnten lediglich 7 Frakturen in den Röntgenaufnahmen durch Frakturlinien diagnostiziert werden.

Die exzellente Darstellung der Frakturlinien resultiert aus dem hohen Kontrast zwischen protonenreicher Flüssigkeit im Frakturspalt und nahezu protonenfreien knöchernen Strukturen. Von hohem diagnostischen Wert sind T2 gewichtete Sequenzen mit Fettsuppression. Sämtliche in der Magnetresonanztomografie nachgewiesenen Frakturen wurden in den Sequenzen „T2 TIRM“ und „T2 DESS“ diagnostiziert. (Tab. 1)

Insgesamt ergab sich mit der Diagnose von 12 der 13 Frakturen (Sensitivität 92%) durch die Magnetresonanztomografie ein deutlicher diagnostischer Gewinn gegenüber der Röntgenaufnahme in 2 Ebenen, anhand der nur 9 Frakturen (Sensitivität 69%) nachgewiesen werden konnten. Von 31 unauffälligen Röntgenaufnahmen wurden in der MRT lediglich 6 bestätigt. Daraus ergibt sich für die Röntgenaufnahme eine Spezifität von 19% verglichen mit der Magnetresonanztomografie mit einer Spezifität von 100%.

#### **4.5.2 Diagnostik von Bandläsionen mittels Magnetresonanztomografie**

Ein Methodenvergleich zwischen Röntgenaufnahme und Magnetresonanztomografie erscheint bei fehlender Aussagekraft der Röntgenaufnahme nicht sinnvoll (41). Lediglich eine Avulsionsfraktur am lateralen Malleolus war bei gleichzeitig vorliegender Druckschmerzhaftigkeit und Einblutung über dem Lig. fibulotalare ant. einem knöchernen Bandausriss gleichzusetzen und erscheint deshalb als Einzelfall einer diagnostizierten Bandruptur in der Ergebnisdarstellung.

Die Schichtorientierung unserer Magnetresonanztomografien war speziell auf die Beurteilung der Bänder des oberen Sprunggelenkes ausgerichtet und festgelegt, um konstant reproduzierbare Aufnahmen zu ermöglichen. Sämtliche Untersuchungen waren in hoher Qualität auswertbar.

Bei 50 untersuchten Patienten fanden sich 26 Bandrupturen und 19 Teilrupturen. Diese hohe Zahl an Bandläsionen bestätigt die Literaturangaben zur Häufigkeit der Sprunggelenksverletzungen.

Die von Lazarus getroffene Aussage, dass Bandrupturen am oberen Sprunggelenk reproduzierbar in anteroposteriorer Folge ablaufen, wird durch unsere Arbeit eindrucksvoll bestätigt (35).

Mit 16 Rupturen und 11 Teilrupturen war das Lig. fibulotalare ant. das am häufigsten geschädigte Band gefolgt vom Lig. fibulocalcanear. Lagen Mehrfachverletzungen von Bändern vor, zeigte sich bei 42,8 % der verletzten Patienten eine Kombination von Lig. fibulotalare ant. und Lig. fibulocalcanear. In keinem Fall fand sich eine isolierte Ruptur des Lig. fibulocalcanear. Dieser Fakt findet Übereinstimmung mit Arbeiten vieler Autoren (7, 26, 55).

Betrachtet man die Frakturen und die Verletzungen von Bändern der untersuchten Patienten, ist ersichtlich, dass die Gelenkfraktur am oberen Sprunggelenk immer mit wenigstens einer Bandläsion verbunden war. Auch im Falle der Frakturen waren ausschließlich das Lig. fibulotalare ant. und das Lig. fibulocalcaneare die mitbetroffenen Bänder.

Diese Konstellation verdeutlicht bildmorphologisch den Unfallablauf, bei dem es im Rahmen der Supination zu einer Überdehnung und Ruptur der ventrolateralen Aussenbänder kommen kann. Die Ruptur des medialen Bandapparates wäre hierfür eher untypisch und bedürfte der Frage nach einem komplexen Umknick- oder direktem Anpralltrauma am Innenknöchel. Abscherfrakturen am Innenknöchel wären wiederum durch die verkantete Talusrolle erklärbar.

Teilrupturen könnten unter Beachtung des prinzipiellen Ablaufs eines Supinations-traumas in 2 Gruppen unterteilt werden:

1. Ausschließliche Teilrupturen im Rahmen leichter Supinationstraumata, denkbar als Vorstufe einer Ruptur, welche bei höherer Krafteinwirkung vermutlich stattgefunden hätte. Diese Theorie wird in dieser Untersuchung dadurch gestützt, dass sämtliche isoliert aufgetretenen Teilläsionen das Lig. fibulotalare ant. betrafen.
2. Teilrupturen als Zweit- oder Drittverletzung bei Rupturen anderer Bänder, vorstellbar infolge einer Energieeinwirkung, welche zur Ruptur eines Bandes ausreichte, jedoch zu gering für die Zerreissung des anderen war. Untermauert wird diese Theorie damit, dass die Rupturen des Lig. fibulotalare ant., bei denen eine zusätzliche Teilläsion abgrenzbar war immer mit einer Partialruptur des Lig. fibulocalcaneare kombiniert waren.

Der Stellenwert der erfassten Teilrupturen für die weitere Behandlung des Patienten ist derzeit noch nicht eindeutig abschätzbar. In der vorliegenden Arbeit dienten diese in erster Linie dem Verständnis der Verletzungsabfolge beim Sprunggelenkstrauma. Zudem ließen sich Zusammenhänge zum angegebenen Unfallhergang schaffen.



Die Beurteilung von Sekundärveränderungen wie Arthrosen bei Patienten mit ausschließlichen Teilrupturen kann nur längerfristig in weiteren Untersuchungen erfolgen.

#### **4.5.3 Gelenkerguss in der Magnetresonanztomografie**

Die Diagnostik eines Gelenkergusses in der Magnetresonanztomografie ist - im Gegensatz zur Röntgenaufnahme - durch dessen Flüssigkeitscharakter sehr gut möglich, da das hohe Signal in den T2 gewichteten Sequenzen in Zusammenschau mit dem hypointensen Korrelat in der T1 Wichtung eindeutig ist.

Eine Differenzierung zwischen blutigem und serösem Erguss war nicht zuverlässig möglich. Lediglich in einem Fall war eine Spiegelbildung im Erguss hinweisend auf eine Sedimentation von Blutbestandteilen. Fetteinschlüsse im Rahmen von Frakturen ließen sich in keinem Fall nachweisen.

Die Größe des Ergusses korrelierte nicht mit der Schwere der Verletzungen. Es fanden sich sowohl ausgedehnte Flüssigkeitsansammlungen im Gelenk ohne Fraktur und bei teilrupturierten Bändern, als auch Frakturen und Bandzerreißen ohne wesentlichen Erguss.

Von 34 Patienten mit Gelenkerguss in unterschiedlicher Ausprägung hatten 6 einen Erguss ohne weitere Verletzungen. Inwiefern bei diesen Patienten die Ergussbildung auf das stattgehabte Trauma zurückzuführen war oder bereits vor dem Trauma bestand, konnte nicht eruiert werden.

#### **4.5.4 Besonderheiten der Magnetresonanztomographie**

Mittels Magnetresonanztomographie gelang es erstmals eine besondere Knochenverletzung, das sogenannte „bone bruise“ zu visualisieren (35, 54, 56-58). Hauptsächlich durch Kontusionsmechanismen kann es zu Signalveränderungen des Knocheninnenraumes kommen, welche denen bei Frakturen ähneln.

Es lassen sich einerseits fokale, andererseits diffuse jedoch begrenzte Signalanhebungen in T2-gewichteten Aufnahmen mit hypointensen Korrelaten in T1-gewichteten Aufnahmen nachweisen. Hierbei ist ausschließlich die Spongiosa betroffen, die Kompakta stellt sich in beiden Wichtungen unauffällig dar. Als histologisches Korrelat des „bone bruise“ wurden Mikrofrakturen von Spongiosabälkchen gefunden (54).

Von 50 untersuchten Kindern hatten 21 (42%) eine oder mehrere Ödemzonen. Die Verteilungsmuster lassen sich von diffus-kleinfleckig bis topografisch-begrenzt beschreiben. Prädestinierte Lokalisationen bei bestimmten Verletzungen konnten nicht abgegrenzt werden. Ebenso wenig korrelierten Ausdehnung des Ödems und Schwere der Verletzung. Eine klinische Bedeutung der Diagnose eines „bone bruise“ ergab sich dementsprechend nicht.

Auffällig war das Fehlen eines Knochenödems bei allen Patienten, welche bis auf eine isolierte Bandruptur keine weiteren Verletzungen aufwiesen.

Von 12 Patienten mit isolierter Ruptur des Lig. fibulotalare ant. fand sich in keinem Fall ein „bone bruise“. Angaben anderer Autoren zu diesem Phänomen konnten nicht gefunden werden.

Ein möglicher Erklärungsansatz ist meiner Ansicht nach, dass es unter bestimmten äußeren Umständen, wie z.B. der Fußhaltung, während des Suppinationstraumas zur kompletten Kraftentladung über die Bandruptur kommt. Dadurch könnte keine Energie auf den angrenzenden Knochen übertragen werden und eine Ödementwicklung bliebe aus.

#### **4.6 Auswirkung des Magnetresonanztomografie – Befundes auf die Therapie**

Die Magnetresonanztomografie stellt im Vergleich mit der Röntgenaufnahme das bildgebende Verfahren mit der höheren Sensitivität für Weichteilverletzungen dar (19, 20, 37, 53).

Die in der vorliegenden Arbeit nachgewiesenen 126 Veränderungen bei 50 Patienten inklusive der 13 diagnostizierten Frakturen bestätigen diese Aussage.

Aufgrund der Untersuchungen konnte für 46 % der Kinder eine Optimierung der Therapie erreicht werden. Ausschlaggebend für die Änderung des therapeutischen Vorgehens waren ausschließlich Bandrupturen und Frakturen.

Auffällig war, dass der größte Teil der Behandlungsänderungen in einer Therapiereduzierung bestand. Ohne Magnetresonanztomografie wurde die Diagnose Bandruptur anhand der klinischen Befunde gestellt. So sind aus klinischer Sicht Schwellung, Knöchelhämatom und Druckschmerzhaftigkeit bei entsprechendem Unfallmechanismus nahezu beweisend für eine Bandruptur, wohingegen eine mildere Klinik eher dagegen spricht.

Mittels Magnetresonanztomografie konnte gezeigt werden, dass in 34 % der Fälle das Ausmaß der Verletzung in der klinischen Beurteilung überschätzt wurde. So konnten bei diesen Kindern Bandrupturen ausgeschlossen werden. Statt dessen hatten von diesen 17 Kindern 11 Teilrupturen erlitten und 6 völlig intakte Bandstrukturen.

Für jedes dieser 17 Kinder änderte sich die Therapie dadurch derart, dass auf die konsequente Ruhigstellung für 3-4 Wochen mit Gipsschiene und Cast-Verband verzichtet werden konnte. Die Behandlung reduzierte sich auf die Anlage eines kühlenden und stabilisierenden, elastischen Verbandes. Den Kindern wurde eine schmerzabhängige Belastung erlaubt. Auf die Gabe eines niedermolekularen Heparins zur Minimierung der Gefahr einer tiefen Beinvenenthrombose konnte verzichtet werden.

Bei 12 % der untersuchten Kinder musste die Therapie nach Auswertung der Magnetresonanztomografie intensiviert werden.

Ein Kind gab zum Zeitpunkt der klinischen Untersuchung nur geringe Schmerzen an und hatte lediglich ein mäßiges Hämatom um beide Knöchel, so dass der Verdacht auf Bandruptur bestand und die Therapieplanung dem entsprach.

In der Magnetresonanztomografie ließ sich eine nichtdislozierte Epiphysenfraktur der Fibula vom Typ Salter Harris III nachweisen, woraus eine Ausdehnung der Ruhigstellung im Cast-Verband von 4 auf 8 Wochen resultierte.

Bei weiteren 5 Kindern waren während der klinische Untersuchung die Schmerzangabe und das Knöchelödem so gering ausgeprägt, dass bei unauffälligem Röntgenbefund kein Verdacht auf eine Bandruptur bestand. In der Magnetresonanztomografie wurden

jedoch Bandrupturen nachgewiesen, woraus sich eine Änderung der Behandlung mit Ruhigstellung im Cast-Verband für 4 Wochen ergab.

Keine Konsequenz für das therapeutische Vorgehen hatten der Nachweis einer Bandteilläsion, eines Gelenkergusses oder eines Knochenmarködems („bone bruise“). Mittels Magnetresonanztomografie lassen sich Teilrupturen von kompletten Bandrupturen unterscheiden. Da eine Teilruptur aus heutiger Sicht keine Gelenkinstabilität zur Folge hat, wurde nur eine komplette Bandruptur therapeutisch relevant (38). Wurde bei einem Patienten eine Teilläsion eines Bandes in der Magnetresonanztomografie nachgewiesen, bei dem kein klinischer Verdacht auf eine Ruptur bestand, änderte sich das weitere Vorgehen nicht. Diese Patienten wurden nicht ruhiggestellt, sondern im elastischen Verband frühfunktionell mobilisiert.

Für keinen der 34 Patienten, in deren Magnetresonanztomografie ein Erguss nachweisbar war, erwuchs eine Therapieänderung, welche ausschließlich durch den Erguss begründet war.

Auch das Auftreten eines „bone bruise“ hatte in der vorliegenden Arbeit keinen Einfluss auf das therapeutische Procedere. Die fehlende Korrelation zu Verletzungsschwere und –art lässt ferner keine Vorhersage bezüglich einer bestimmten Läsion zu.

Eine Verbesserung der klinischen Untersuchung ist nach Ansicht des Autors weder nötig, noch möglich, da eine Spezifizierung und Festlegung von Grenzwerten für klinische Symptome wie Druckschmerzhaftigkeit, Schwellung und Hämatomgröße aufgrund der Individualität der Patienten undenkbar erscheinen. Zudem ergab sich kein eindeutiger Bezug zwischen diesen Symptomen und den in der Magnetresonanztomografie gefundenen Verletzungen.

Vielmehr besteht ein großes Potential in der Verbesserung der bildgebenden Diagnostik.

Die hohe Aussagekraft der Magnetresonanztomografie in der Skelett- und besonders Gelenkdiagnostik wurde in zahlreichen Arbeiten belegt. Das Verfahren ist in der Routinediagnostik etabliert. Haupteinsatzgebiete der Magnetresonanztomografie in der

Knochendiagnostik sind jedoch bisher eher chronische und entzündliche Veränderungen. In der Traumadiagnostik wird das Verfahren meist nur bei speziellen Fragestellungen, wie der Abklärung von Sekundärverletzungen des Zentralnervensystems oder zur Klärung eines möglichen Kniebinnenschadens eingesetzt (4-7, 19, 20, 26, 36, 37, 41, 44, 52, 53, 59-61).

Die durchgeführte Untersuchung belegt die Überlegenheit der Magnetresonanztomografie gegenüber der konventionellen Röntgenaufnahme in der Diagnostik akuter Verletzungen des oberen Sprunggelenkes im Kindesalter.

Aus meiner Sicht ist die Magnetresonanztomografie derzeit das beste Mittel für die komplexe Diagnostik akuter Verletzungen des oberen Sprunggelenkes.

Der vollständige Ersatz der Röntgendiagnostik beim akuten Supinationstrauma durch die Magnetresonanztomografie ist prinzipiell möglich, die generelle praktische Anwendung erscheint jedoch momentan noch nicht komplett umsetzbar.

Verfügbarkeit und Verbreitung der Magnetresonanztomografie werden auch in naher Zukunft nicht die der Röntgenanlagen erreichen. Die begrenzten Mittel niedergelassener Ärzte lassen den nötigen, heute noch kostenintensiveren Einsatz der Magnetresonanztomografie nicht uneingeschränkt zu. Zudem steht die breite Akzeptanz der Röntgenaufnahmen und deren relativ einfache Auswertung durch den klinisch tätigen Arzt der „Spezialuntersuchung“ Magnetresonanztomografie gegenüber, deren Auswertung für den nicht radiologisch tätigen Arzt schwierig ist.

Mittel- und Langfristig ist die weitere, flächendeckendere Verbreitung der Magnetresonanztomographie aufgrund der diagnostischen Überlegenheit und aus strahlenhygienischer Sicht notwendig. Ein Methodenwechsel in der primären Traumadiagnostik wird damit vorhersehbar.

## 5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Die Frakturen des oberen Sprunggelenks sind nach denen des Ellenbogengelenks die zweithäufigsten Frakturen im Wachstumsalter. Die bildgebende Diagnostik dieser Verletzungen erfolgt derzeit primär mit Hilfe von Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen.

Für die Therapie sind der Nachweis von Frakturen und Aussagen über die Intaktheit oder Zerreißung von Gelenkbändern von größter Bedeutung. Hinweise für die Schwere der Verletzung ergeben sich aus der klinischen Untersuchung. Hämatom, Schwellung, Bewegungs- und Belastungseinschränkung sowie Schmerzen weisen mit zunehmender Intensität auf Frakturen und Bandläsionen hin.

Liegt der klinische Verdacht auf eine Fraktur vor, ist derzeit die Anfertigung einer Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenkes obligat.

Überlagerungen von knöchernen Strukturen und die fehlende Beurteilungsmöglichkeit von Bandstrukturen sowie der, für das Wachstum des Knochens wichtigen Wachstumsfuge, mindern die Aussagekraft des Röntgenbildes für die nötige Therapieentscheidung. Die MRT bietet als Schnittbildverfahren die Möglichkeit sowohl Frakturen und Wachstumsfuge als auch Bänder und Gelenkergüsse sicher zu beurteilen.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin zu eruieren, ob mittels Magnetresonanztomographie die Diagnostik beim akuten kindlichen Sprunggelenkstrauma im Vergleich mit der Röntgenaufnahme zu verbessern ist und daraus eine Änderung des therapeutischen Vorgehens resultiert.

Es wurden in einem Zeitraum von 8 Monaten 50 Patienten mit akutem Supinations-trauma des oberen Sprunggelenkes prospektiv untersucht. Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs betrug 13 Jahre. Bei allen Patienten wurden am Tag der Vorstellung in der kinderchirurgischen Ambulanz Röntgenaufnahmen des oberen Sprunggelenkes in 2 Ebenen angefertigt. Nahezu alle Kinder wurden anschließend innerhalb von 36 Stunden nach dem Trauma mittels MRT untersucht.

In der MRT fanden sich bei 50% der Kinder pathologische Veränderungen. Im Gegensatz dazu waren die Röntgenaufnahmen nur in 38% auffällig. Insgesamt fanden sich 13 knöcherne Verletzungen bei 10 Patienten. Hiervon waren 7 Fibulafrakturen, 4 Frakturen des Malleolus medialis und 2 Frakturen der Tibiahinterkante

(Volkmann'sches Dreieck). 4 Frakturen hatten Bezug zur Wachstumsfuge und wurden nach Salter und Harris in 2 Frakturen vom Typ III und je eine Verletzung Typ IV und V eingeteilt. 9 Frakturen wurden anhand von Röntgenaufnahmen, 12 anhand der Magnetresonanztomographie diagnostiziert. Eine knöcherner Absprengung der Fibula konnte als Begleitverletzung einer Gelenkfraktur in beiden Verfahren nicht dargestellt werden, und wurde in einer praeoperativen Computertomographie diagnostiziert.

Es wurden 26 Bandrupturen und 19 Teilrupturen von Bändern in der MRT diagnostiziert. Das Lig. fibulotalare ant. war sowohl das am häufigsten rupturierte (32%), als auch teilrupturierte (22%) Band. Rupturen (20%) und Teilrupturen (12%) des Lig. fibulocalcaneare waren die zweithäufigsten Bandverletzungen im Patientenkollektiv. Es zeigte sich eine konstante Verletzungskombination von Lig. fibulotalare ant. und Lig. fibulocalcaneare entsprechend dem anteroposterioren Kraftverlauf beim Supinationstrauma.

Gelenkergüsse wurden bei 68% der Kinder in der MRT gesichert, eine Korrelation zur Schwere des Traumas fand sich nicht. Das therapeutische Vorgehen wurde durch den Erguss nicht beeinflusst.

Ein Markraumödem – bone bruise – wurde bei 42% der Patienten in unterschiedlicher Ausprägung gefunden. Auffällig war das Fehlen eines „bone bruise“ bei isolierten Bandrupturen, welches möglicherweise in der kompletten Kraftentladung durch den Bandriss und die fehlende Übertragung auf den Knochen begründet ist.

Jede Modifikation der weiteren Behandlung nach Kenntnisnahme des MRT-Befundes wurde als Änderung des Therapieregimes gewertet. Demnach ergab sich für 46% der Patienten eine Therapieänderung. Bei 34% der Kinder konnte auf eine Ruhigstellung verzichtet werden, da eine klinisch vermutete Verletzung nicht bestätigt wurde. 12% der Kinder mussten länger ruhiggestellt werden, da Bandrupturen oder Frakturen nachgewiesen wurden, obwohl die Klinik dagegen sprach und das Röntgenbild keine Fraktur zeigte.

Die MRT ist gegenwärtig die sicherste Methode für die komplexe Diagnostik akuter Verletzungen des oberen Sprunggelenkes beim Kind.

Als besonders aussagekräftig erwies sich die verwendete T2 gewichtete und fettgesättigte „tirm“-Sequenz. Einerseits stellte sich in dieser Sequenz kein verletztes Sprunggelenk unauffällig dar, andererseits konnten sämtliche wegweisende Signalveränderungen in dieser Sequenz abgegrenzt werden (Sensitivität und Spezifität

100%). Die T1 gewichtete Sequenz war für die Fragestellung von geringer diagnostischer Aussagekraft.

Den Ergebnissen dieser Arbeit entsprechend wurde die Auffassung gewonnen, dass bei Einsatz der Magnetresonanztomographie beim akuten Trauma des oberen Sprunggelenkes beim Kind auf die Primärdiagnostik mittels Röntgenaufnahme verzichtet werden kann. Die T2-gewichtete Gradientenechosequenz mit Fettsuppression (T2 TIRM) kann als „Suchsequenz“ Verwendung finden.

Der vollständige Ersatz der Röntgendiagnostik durch die Magnetresonanztomographie ist derzeit noch nicht umfassend möglich, jedoch ist perspektivisch durch die weitere Verbreitung der MRT und die zunehmende Nutzung im klinischen Alltag ein Methodenwechsel in der traumatologischen Diagnostik denk- und vorstellbar.



## 6 Literaturverzeichnis

1. Jones IE, Williams SM, Dow N, Goulding A. How Many Children Remain Fracture-Free During Growth? A Longitudinal Study of Children and Adolescents Participating in the Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study. *Osteoporos Int* 2002; 13 (2002) 990-995
2. von Laer L. The Posttraumatic Partial Closure of the Distal Physis of the Tibia. Cause, Prognosis, Prophylaxis?  
Part I: Number of Cases, Method, Results. *Unfallheilkunde* 85 (1982) 445-452
3. Zanetti M, De Simoni C, Wetz HH, Zollinger H, Hodler J. Magnetic resonance Imaging of injuries to the ankle joint: can it predict clinical outcome? *Skeletal Radiol* 26 (1997) 82-88
4. Morrison WB. Magnetic Resonance Imaging of Sports Injuries of the Ankle. *Topics in Magnetic Resonance Imaging* 14 (2003) 179-197
5. Kerr R. Magnetic resonance imaging of the foot and ankle. *Semin Roentgenol* 35 (2000) 306-318
6. Recht MP, Donley BG. Magnetic resonance imaging of the foot and ankle. *J Am Acad Orthop Surg* 9 (2001) 187-199
7. Schweitzer ME. Magnetic resonance imaging of the foot and ankle. *Magn Reson Q* 9 (1993) 214-234
8. Lillis KA, Jaffe DM. Playground injuries in children. *Pediatr Emerg Care* 13 (1997) 149-153
9. Mahadev A, Soon MH, Lam KS. Monkey Bars are for Monkeys: A Study on Playground Equipment Related Extremity fractures in Singapore. *Singapore Med J* 45 (2004) 9-13

10. Cooper C, Dennison E, Leufkens HG, N. B, van Staa TP. Epidemiologie of childhood fractures in Britain: a study using general practice research database. *J Bone Miner Res* 19 (2004) 1976-1981
11. Landin LA, L.G. D. Children's ankle fractures. Classification and epidemiology. *Acta Orthop Scand* 54 (1983) 634-640
12. Baumgartner R, Jani L, Herzog B. Verletzung des Ligamentum fibulotalare im Kindesalter. *Helv Chir Acta* 42 (1975) 443-448
13. Mizuta T, Benson WM, Foster BK, Paterson DC, Morris LL. Statistical analysis of the incidence of physal injuries. *J Pediatr Orthop* 7 (1987) 518-523
14. Damore DT, Metzl JD, Ramundo M, Pan S, Van Amerongen R. Patterns in childhood sports injury. *Pediatr Emerg Care* 19 (2003) 65-67
15. Lyons RA, Sellstrom E, Delahunty AM. Incidence and cause of fractures in European districts. *Arch Dis Child* 82 (2000) 452-455
16. Kopjar B, Wickizer TM. Fractures among children: incidence and impact on daily activities. *Injury Prevention* 4 (1998) 194-197
17. von Laer L, Gerber B, Jehle B. Epiphyseal fractures and epiphysiolyses of the distal tibia. *Z Kinderchir* 36 (1982) 125-127
18. Wildberger JE, Alzen G, Eschmann SM, R.W. G. Efficiency and efficacy of radiologic diagnosis in skeletal trauma in childhood and adolescence. *Radiologe* 35 (1995) 397-400
19. Petit P, Panuel M, Faure F, Jouve JL, Bourliere-Najean B, Bollini G, et al. Acute fracture of the distal tibial physis: role of gradient-echo MR imaging versus plain film examination. *Am J Roentgenol* 166 (1996) 1203-1206

20. Lohman M, Kivisaari A, Kallio P, Puntila J, Vehmas T, Kivisaari L. Acute paediatric ankle trauma: MRI versus plain radiography. *Skeletal Radiol* 30 (2001) 504-511
21. Lyons RA, Delahunty AM, Kraus D. Children's fractures: a population based study. *Injury Prevention* 5 (1999) 129-132
22. von Laer L, Gruber R, Dallek M, Dietz HG, Kurz W, Linhart W, et al. Classification and Documentation of Children's Fractures. *Eur J Trauma* 26 (2000) 2-14
23. Schneider A, von Laer L. Diagnosis of Fibulotalar Ligament Lesions during Growth. *Unfallheilkunde* 84 (1981) 133-138
24. van Staa TP, Leufkens HG, Cooper C. Does a fracture at one site predict later fractures at other sites? A British cohort study. *Osteoporos Int* 13 (2002) 624-629
25. van Staa TP, Dennison E, Leufkens HG, Cooper C. Epidemiology of Fractures in England and Wales. *Bone* 29 (2001) 517-522
26. Iwinska-Zelder J, Schmidt S, Ishaque N, Hoppe M, Schmitt J, Klose KJ, et al. Epiphyseal injuries of the distal tibia. Does MRI provide useful additional information?. *Radiologe* 39 (1999) 25-29
27. Seyffarth G, Spalteholz H. Fresh injuries of the upper ankle joint. Treatment problems and results. *Beitr Orthop Traumatol* 31 (1984) 248-256
28. Beck A, Kinzl L, Rüter A, Strecker W. Frakturen mit Beteiligung der distalen Femurepiphyse  
Langzeitergebnisse nach Wachstumsschluss bei primär operativer Versorgung. *Unfallchirurg* 104 (2001) 611-616
29. Labovitz JM, Schweitzer ME. Occult osseous injuries after ankle sprains: incidence, location, pattern, and age. *Foot Ankle Int* 19 (1998) 661-667

30. von Laer L. Spontanverläufe nach Frakturen im Wachstumsalter. Orthopade 23 (1994) 211-219
31. von Laer L. The "uncompleted" in growth: the transitional fracture of the distal tibia (author's transl). Unfallheilkunde 84 (1981) 373-381
32. Dallek M, Mommsen U, Jungbluth KH, Sauer HD. Collagen fiber texture and injury pattern of the epiphyseal groove. Z Kinderchir (1982) 36 123-124
33. Frohlich H, Gotzen L, Adam U. Evaluation of stressed roentgenograms of the ankle joint (author's transl). Unfallheilkunde 83 (1980) 457-461
34. Rubin A, Sallis R. Evaluation and diagnosis of ankle injuries. Am Fam Physician 54 (1996) 1609-1618
35. Lazarus ML. Imaging of the foot and ankle in the injured athlete. Med Sci Sports Exerc 31 (1999) 412-420
36. Labovitz JM, Schweitzer ME, Larka UB, Solomon MG. Magnetic resonance imaging of ankle ligament injuries correlated with time. J Am Podiatr Med Assoc 88 (1998) 387-393
37. Kier R, McCarthy S, Dietz MJ, Rudicel S. MR appearance of painful conditions of the ankle. Radiographics 11 (1991) 401-414
38. von Laer L. Distorsio pedis beim Kind. Orthopade 15 (1986) 251-259
39. Salter RB, Harris WR. Injuries Involving the Epiphyseal Plate. J Bone Joint Surg Br 83 (2001) 1753
40. Aitken AP. Fractures of the epiphyses. Clin Orthop 41 (1965) 19-23

41. Carey J, Spence L, Blickman H, Eustace S. MRI of pediatric growth plate injury: correlation with plain film radiographs and clinical outcome. *Skeletal Radiol* 27 (1998) 250-255
42. Frohlich H, Gotzen L, Adam U. Experimental studies on the value of two-level x-ray of the upper ankle joint. *Unfallheilkunde* 87 (1984) 256-261
43. Hefti F, von Laer L, Morscher E. Principles and pathogenesis of post-traumatic axial malalignment in the growth years. *Orthopade* 20 (1991) 324-330
44. Herber S, Kreitner KF, Kalden P, Low R, Berger S, Thelen M. Low-field MRI of the ankle joint: initial experience in children and adolescents using an open 0.2 T MR-system. *Rofo* 172 (2000) 267-273
45. Jaramillo D, Hoffer FA, Shapiro F, Rand F. MR imaging of fractures of the growth plate. *AJR Am J Roentgenol* 155 (1990) 1261-1265
46. Rogers LF. The radiography of epiphyseal injuries. *Radiology* 96 (1970) 289-299
47. Rogers LF, Poznanski AK. Imaging of epiphyseal injuries. *Radiology* 191 (1994) 297-308
48. von Laer L. The Posttraumatic Partial Closure of the Distal Physis of the Tibia. Cause, Prognosis, Prophylaxis?  
Part II: Discussion. *Unfallheilkunde* 85 (1982) 509-516
49. Hasler CC. Leg length inequality. Indications for treatment and importance of shortening procedures. *Orthopade* (2000) 29 766-774
50. Jackson JL, O'Malley PG, Kroenke K. Evaluation of Akute Knee Pain in Primary Care. *Ann Intern Med* 139 (2003) 575-588
51. Schutze U, Mischkowsky T, Gotze V, Amberger H. Diagnosis and therapy of lateral ligament rupture of the upper ankle joint. *Z Kinderchir* 36 (1982) 128-130

52. Lohman M, Kivisaari A, Vehmas T, Kinnunen J, Karaharju E, Kaukonen JP, et al. MR imaging in suspected acute trauma of wrist bones. *Acta Radiol* 40 (1999) 615-618
53. Kier R, Dietz MJ, McCarthy SM, Rudicel SA. MR imaging of the normal ligaments and tendons of the ankle. *J Comput Assist Tomogr* 15 (1991) 477-482
54. Miller MD, Osborne JR, Gordon WT, Hinkin DT, Brinker MR. The natural history of bone bruises. A prospective study of magnetic resonance imaging-detected trabecular microfractures in patients with isolated medial collateral ligament injuries. *Am J Sports Med* 26 (1998) 15-19
55. Martinek V, Ottl G, Imhoff AB. Chondral and osteochondral lesions of the upper ankle joint. Clinical aspects, diagnosis and therapy. *Unfallchirurg* 101 (1998) 468-475
56. Ryu KN, Jin W, Ko YT, Yoon Y, Oh JH, Park YK, et al. Bone bruises: MR characteristics and histological correlation in the young pig. *Clin Imaging* 24 (2000) 371-380
57. Newberg AH, Wetzner SM. Bone bruises: their patterns and significance. *Semin Ultrasound CT MR* 15 (1994) 396-409
58. Alanen V, Taimela S, Kinnunen J, Koskinen SK, Karaharju E. Incidence and clinical significance of bone bruises after supination injury of the ankle. A double-blind, prospective study. *J Bone Joint Surg Br* 80 (1998) 513-515
59. Preidler KW, Peicha G, Lajtai G, Seibert FJ, Fock C, Szolar DM, et al. Conventional radiography, CT, and MR imaging in patients with hyperflexion injuries of the foot: diagnostic accuracy in the detection of bony and ligamentous changes. *AJR Am J Roentgenol* 173 (1999) 1673-1677
60. Potter HG, Linklater JM, Allen AA, Hannafin JA, Haas SB. Magnetic Resonance Imaging of Articular Cartilage in the Knee. *J Bone Joint Surg Br* (1998) 80 1276-1284

61. Sonin AH, Fitzgerald SW, Friedman H, Hoff FL, Hendrix RW, Rogers LF. Posterior cruciate ligament injury: MR imaging diagnosis and patterns of injury. *Radiology* 190 (1994) 455-458

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

- Tabelle 1 Parameter der durchgeführten MRT-Sequenzen
- Tabelle 2 Lokalisation und Klassifikation der nachgewiesenen Frakturen nach Salter und Harris sowie Aitken
- Tabelle 3 Verteilung der Rupturen und Teilrupturen der einzelnen Bänder
- Abbildung 1 Darstellung der Lagerung der verletzten Extremität im mit den verwendeten Polsterungen und nach Anlage des Spulenkäfigs vor Einbringen in den Tomographen
- Abbildung 2 Typische Darstellung des gesunden, teilrupturierten und rupturierten Lig. fibulotalare ant. in der Sequenz T2 tirm in transversaler Schichtführung
- Abbildung 3 Typische Darstellung des gesunden, teilrupturierten und rupturierten Lig. fibulocalcaneare in der Sequenz T2 tirm in coronarer Schichtführung
- Abbildung 4 Schema zur therapeutischen Vorgehensweise nach Distorsionstrauma des oberen Sprunggelenkes bei Kindern und vorliegendem Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen
- Abbildung 5 Abgrenzbarkeit der Frakturen anhand von Frakturlinien in Röntgenaufnahmen und MRT im Vergleich mit der Gesamtfrakturanzahl
- Abbildung 6 Abgrenzbarkeit der Kortikalisunterbrechung in Röntgenaufnahmen und MRT im Vergleich mit der Gesamtzahl an Frakturen
- Abbildung 7 Nachweis der kompletten Bandrupturen anhand von Röntgenaufnahmen und MRT im Vergleich mit der Anzahl insgesamt erfasster Rupturen
- Abbildung 8 Anzahl und Lokalisation der Teilrupturen im untersuchten Patientengut
- Abbildung 9 Anzahl und Lokalisation lateraler Bandrupturen im untersuchten Patientengut
- Abbildung 10 Auftreten der Knochenmarködeme bei isolierter Ruptur und Teilruptur, sowie bei kombinierten Bandverletzungen
- Abbildung 11 Änderung des therapeutischen Vorgehens nach Ergebnis der MRT
- Abbildung 12 Disloziertes Abrissfragment am medialen Malleolus, demonstriert in einer coronaren CT - Rekonstruktion
- Abbildung 13 Ephysenfraktur der Fibula vom Typ Salter und Harris III in Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen und DESS 3D Sequenz im MRT in sagitaler Schichtführung
- Abbildung 14 Volkmann´sche Fraktur der Tibia in seitlicher Röntgenaufnahme und DESS 3D Sequenz im MRT in sagitaler Schichtführung



Abbildung 15 Kleinstfragment der Fibula bei komplexer trimalleolärer Fraktur in transversalem CT-Schnitt und T2 TIRM Sequenz im MRT in transversaler Schichtführung

## Thesen

1. Distorsionstraumata des oberen Sprunggelenkes sind im Wachstumsalter häufige Verletzungen.
2. Die klinische Untersuchung kann lediglich Hinweise auf die Schwere einer Verletzung geben und stellt die Indikation für weitere, bildgebende Verfahren.
3. Das obere Sprunggelenk ist durch seinen komplexen Aufbau und die im Kindesalter noch offenen Wachstumsfugen röntgenologisch schwer zu beurteilen. Verletzungen von Bändern sind in der Röntgenaufnahme nicht diagnostizierbar.
4. Mittels MRT lassen sich alle beim Distorsionstrauma verletzten Strukturen, wie Knochen, Gelenkknorpel, Bänder und Weichteile komplex beurteilen.
5. Alle Kinder waren im MRT problemlos zu untersuchen und sämtliche MRT waren uneingeschränkt auswertbar.
5. Die Frakturdiagnostik mittels MRT ist der Diagnostik durch klinische Untersuchung und Röntgenaufnahmen überlegen. 12 von 13 Frakturen konnten im MRT diagnostiziert werden (Spezifität 96%). 4 Frakturen von 13 waren auf den Röntgenaufnahmen nicht nachzuweisen (Spezifität 69%).
6. 25 Bandrupturen und 19 Teilrupturen konnten ausschließlich im MRT verifiziert werden. Die Ligg. fibulotalare ant. und fibulocalcaneare waren, entsprechend dem Verletzungsmuster der Supination die am häufigsten verletzten Bänder.
7. Die Diagnosen von Gelenkerguss und Knochenmarködem „bone bruise“ waren nur im MRT möglich, hatten jedoch keinen Einfluss auf die weitere Therapie.
8. Die klinische Untersuchung und das klinische Bild überschätzen die Verletzung. Nach MRT-Befund ergab sich für 34% der Kinder eine Therapiereduzierung und für 12% ein Therapieausweitung.

9. Die T2 gewichtete Sequenz mit Fettsuppression „T2 tirm“ konnte alle pathologischen Befunde nachweisen und war bei fehlender Verletzung unauffällig. Damit kann diese Sequenz als „Suchsequenz“ Verwendung finden.
  
10. Die MRT ist das beste derzeit zur Verfügung stehende Verfahren in der Diagnostik von Distorsionsverletzungen des oberen Sprunggelenkes.  
Die breite, praktische Anwendung wird limitiert durch die unzureichende Verfügbarkeit, die derzeit noch hohen Gerätekosten und die im Gegensatz zur Röntgenaufnahme nötige Befunderstellung durch radiologisch tätige Ärzte.
  
11. Die MRT ist in der Lage als bildgebendes Verfahren die Röntgenuntersuchung in der Primärdiagnostik von Distorsionstraumata beim Kind zu ersetzen.

## Lebenslauf

10.05.1972	geboren in Wippra/ Südharz Sohn der Eheleute Waldtraut und Gerd Stock
1978 – 1988	Besuch der Polytechnischen Oberschule in Gerbstedt
1988 – 1990	Besuch der Erweiterten Oberschule in Hettstedt
1990	Abitur
1990 – 1991	Zivildienst in der Klinik für Innere Medizin des Kreiskrankenhauses Hettstedt
1991 – 1992	Freiwilliges Soziales Jahr in der Klinik für Innere Medizin und der Chirurgischen Klinik des Kreiskrankenhauses Hettstedt
1992 – 1999	Studium der Fachrichtung Humanmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
1995 – 1997	Magisterstudium Fachübersetzen für Medizin in Englisch im Nebenstudium an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
1999 – 2000	Arzt im Praktikum in der Abteilung für Diagnostische Radiologie und Interventionsradiologie der Kliniken Bergmannstrost der Stadt Halle
2000	Approbation als Arzt
2000 – 2005	Assistenzarzt an der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
2002	Geburt unseres Sohnes Wieland
2003	Eheschließung mit Susanne Peters
2003 – 2004	Klinisches Jahr im Rahmen der Ausbildung zum Facharzt für Diagnostische Radiologie an der Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
2005	Facharzt für Diagnostische Radiologie
seit 2005	Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

## **Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Halle, 28.04.2005

Karsten Stock

## **Hinweis auf Publikationen dieser Arbeit**

1. Supinationstrauma des oberen Sprunggelenkes im Kindesalter – MRT, klinischer Befund und Röntgenaufnahmen im Vergleich  
K. Stock, S.O. Höhne, R. Finke und R.P. Spielmann  
Vortrag; Kinderärztekongress Bremen 2005; 101. Jahrestagung der DGKJ vom 29.09. bis 02.10.2005
  
2. Veröffentlichungen in folgenden Zeitschriften in Vorbereitung:  
RÖFO (Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren)  
Radiology (Radiological Society of North America)  
Deutsches Ärzteblatt (Standesorgan der Bundesärztekammer und der Kassenärztlichen Bundesvereinigung)  
Zentralblatt für Kinderchirurgie

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. med. habil. R. Finke, Direktor der Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, für die stete Förderung der Arbeit danken.

Den ärztlichen Mitarbeitern und Schwestern der Klinik gilt mein Dank für ihre kooperative Unterstützung und die Anregungen bei der Bearbeitung dieses Themas. Insbesondere Herrn OA Dr. med. S.-O. Höhne gilt mein Dank für seine stets produktive und kritische Hilfestellung.

Herrn Prof. Dr. med .habil. R.P. Spielmann, Direktor der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, danke ich für die mir ermöglichte Nutzung des MRT.

Herrn OA Dr. med. Ch. Kunze möchte ich für seine Mitarbeit bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen und MRT-Untersuchungen danken.

Den MTRA der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie gilt mein Dank für ihren Einsatz auch außerhalb ihrer Arbeitszeit bei der Erstellung der MRT.

Meiner Frau Susanne und Uta danke ich für ihre Rücksichtnahme und Hilfe, sowie ihr unermüdliches Verständnis in der Zeit der Anfertigung dieser Arbeit. Meiner Frau gilt besonderer Dank für die kritischen Durchsichten der Manuskripte.

Halle, 28.04.2005

Karsten Stock