

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Zentrum für Radiologie und Endoskopie
Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin
des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf
Direktor: Prof. Dr. med. G. Adam

**Diagnostik traumatischer isolierter Syndesmosenverletzungen des
oberen Sprunggelenks: Wertigkeit der Projektionsradiographie
im Vergleich mit der 3T Magnetresonanztomographie**

Dissertation:
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:
Gwendolyn Gold
aus Köln

Hamburg 2016

Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 11.07.2017

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Jin Yamamura

Prüfungsausschuss, zweiter Gutachter/in: PD Dr. Jan-Phillip Petersen

Für Justus

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Epidemiologie	1
1.2 Anatomie und Biomechanik	1
1.3 Verletzungen der Syndesmose und deren Folgeschäden	6
1.4 Diagnostik einer traumatischen Syndesmosenverletzung	8
1.4.1 Anamnese und funktionelle Untersuchung	8
1.4.2 Konventionelle Röntgendiagnostik	10
1.4.3 Magnetresonanztomographie (MRT)	11
1.5 Fragestellung und Hypothesen	13
2 Material und Methoden	15
2.1 Patienten	15
2.2 Projektionsradiographie	15
2.3 Magnetresonanztomographie	17
2.4 Statistische Auswertung	21
3 Ergebnisse.....	22
3.1 Magnetresonanztomographie	22
3.1.1 Inzidenzen der Syndesmosenverletzung	22
3.1.2 Begleitverletzungen	23
3.2 Projektionsradiographie	23
3.2.1 TFCS	23
3.2.2 TFO	24
3.2.3 MCS	24
4 Diskussion.....	28
5 Zusammenfassungen	37
5.1 Deutsch	37
5.2 Englisch	39
Literaturverzeichnis	VII
Danksagung.....	XIII
Lebenslauf	XIV
Eidesstattliche Versicherung	XV

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anatomische Darstellung von Tibia und Fibula.....	2
Abb. 2: Anatomische Darstellung des oberen und unteren Sprunggelenks	2
Abb. 3: Anatomische Darstellung des lateralen Bandkomplexes des Sprunggelenks	3
Abb. 4: Anatomische Darstellung des medialen Bandkomplexes des Sprunggelenks.....	4
Abb. 5: Darstellung der unteren tibiofibularen Syndesmose mit Kennzeichnung der Lokalisation	5
Abb. 6: Verletzungsmechanismus der Syndesmose	6
Abb. 7: Beispiel des Pronation-Eversions-Mechanismus.....	7
Abb. 8: Röntgenaufnahme des OSG eines 25-jährigen Patienten in a.-p. Strahlengang mit 15- 20° Innenrotationsstellung ohne Syndesmosenverletzung.	17
Abb. 9: 3 Tesla MRT-Aufnahmen (axiale Reformation/ MPR der 3D PDW-VISTA Sequenz) zur Illustration der Graduierung einer Syndesmosenverletzung (insb. AITFL):...	20
Abb. 10: Vergleich der Messwerte für TFCS (Tibio fibular clear space), TFO (Tibio fibular overlap) und MCS (Medial clear space) im Nativröntgenbild bei Patienten mit Syndesmosenverletzung (SV) und ohne Syndesmosenverletzung.	25
Abb. 11: Bland-Altman-Graphen zur Illustration der Untersuchervariabilität von a) TFCS b) TFO und c) MCS,	26
Abb. 12: ROC-Graphen demonstrieren die diagnostische Wertigkeit von a) TFCS (ermittelter Grenzwert 5,3 mm) b) TFO (ermittelter Grenzwert 1,8 mm) und c) MCS (ermittelter Grenzwert 2,8 mm) zur Detektion einer Syndesmosenverletzung.	26
Abb. 13: TFCS (Tibio fibular clear space) und MCS (Medial clear space): Messungen bei kompletter Ruptur des AITFL (Syndesmosenverletzung, Grad 3).....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter der 2D STIR Sequenz.....	18
Tabelle 2: Parameter der 3D PD Vista Sequenz.....	18
Tabelle 3: Stadieneinteilung zur Beurteilung der tibiofibularen Syndesmose mittels MRT....	19
Tabelle 4: Inzidenzen der Verletzungen des AITFL und des PTIFL im Studienkollektiv (n = 84) entsprechend der Einteilung in 4 Grade.	23

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie

Das Distorsionstrauma des oberen Sprunggelenks ist eines der häufigsten traumatologischen Verletzungen des Menschen. Die Inzidenz liegt in den USA bei durchschnittlich 23.000 Distorsionsverletzungen des oberen Sprunggelenks pro Tag, in Deutschland bei ca. 8200 Distorsionen pro Tag (Ruchholtz und Wirtz 2013). Vorrangig tritt bei Verletzungen des Sprunggelenks das Supinationstrauma, also ein Umknicktrauma nach lateral auf, wobei die lateralen Bänder des Sprunggelenks, vor allem das Lig. talofibulare anterius und das Lig. calcaneofibulare durch starke Zugbelastung zerreißen können (Benninghoff und Drenckhahn 2003). Neben diesen Verletzungen des lateralen Bandapparates tritt bei ca. 13% der oberen Sprunggelenksverletzungen eine isolierte Verletzung der tibiofibularen Syndesmose auf (Hermans et al. 2011; Grass et al. 2000; Ebraheim et al. 2006). Eine isolierte Syndesmosenverletzung ist definiert als eine Dehnung oder Ruptur der Syndesmose ohne begleitende knöcherner Fraktur. Erstmals wurde die isolierte Syndesmosenverletzung von Wilson et al. im Jahr 1939 beschrieben (Wilson et al. 1939). Der Anteil der Syndesmosenverletzungen mit begleitender Fraktur der Tibia oder häufiger der Fibula ist höher als der Anteil isolierter Syndesmosenverletzungen. Da eine große Anzahl isolierter Syndesmosenverletzungen nicht diagnostiziert wird, wird deren Inzidenz höher geschätzt (Gerber et al. 1998; Zamzami und Zamzam 2009). Die meisten oberen Sprunggelenkstraumata ereignen sich bei sportlichen Aktivitäten, vor allem beim Fußball, Tennis, Basketball und Volleyball, Football, Rugby, Lacrosse oder leichtathletischen Disziplinen. Bei Athleten kann die Häufigkeit einer isolierten Syndesmosenverletzung unter den oberen Sprunggelenkstraumata bis auf 17% steigen (Williams und Allen 2010).

1.2 Anatomie und Biomechanik

Tibia und Fibula artikulieren in drei verschiedenen Etagen miteinander (Grass et al. 2000) (Abb. 1, Abb. 2). Die erste Etage bildet das proximale Gelenk zwischen Tibia und Fibula, die *Articulatio tibiofibularis*. Diese ist im anatomischen aber nicht funktionellen Sinne eine strapazierfähige Diarthrose. Sie ermöglicht leichte Gleitbewegungen und wird durch die Kapselbänder, die *Ligg. capitis fibulae anterius* und *posterius*, gesichert (Benninghoff und Drenckhahn 2003).

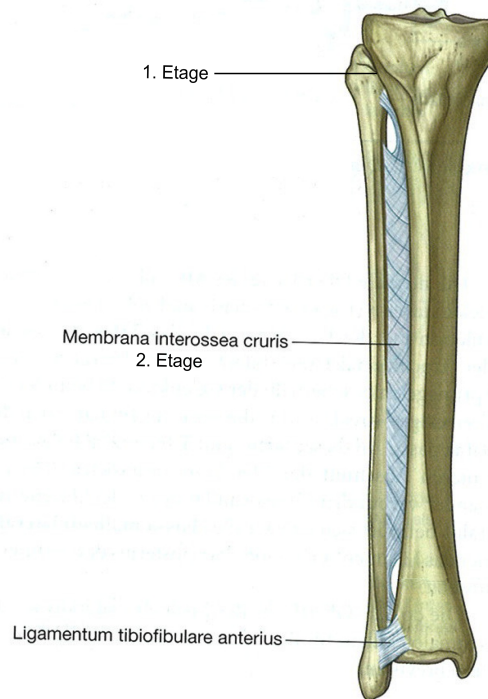


Abb. 1: Anatomische Darstellung von Tibia und Fibula
Erste und zweite Etage der Artikulation (Drake R.L. et al. 2007)

Zwischen den beiden Unterschenkelknochen spannt sich die Membrana interossea cruris (MIC), welche eine mechanisch relativ schwache Bandstruktur darstellt. Diese stellt die zweite Artikulationsfläche zwischen Tibia und Fibula dar. Die Fasern dieser Kollagenfaserplatte ziehen schräg abwärts zur Fibula. Distal nimmt die Membrana interossea cruris an Stärke zu und geht in das Lig. interosseum der distalen tibiofibularen Syndesmose über.

Die distale dritte Etage der Artikulation bilden das obere (OSG) und das untere (USG) Sprunggelenk des Fußes als funktionelle Einheit (Abb. 2), die einen Ausgleich zwischen den Bewegungen des Körpers und der jeweiligen Gehfläche schafft.

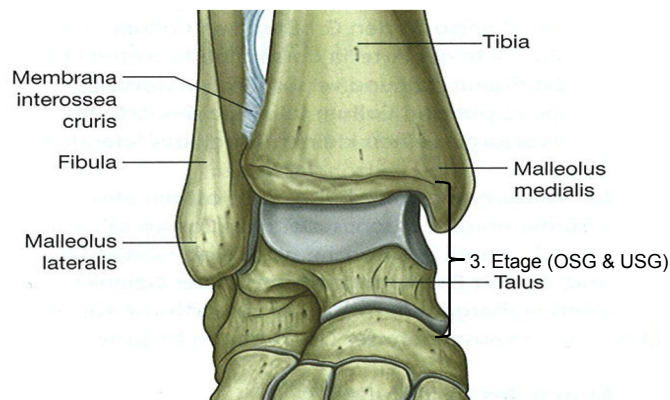


Abb. 2: Anatomische Darstellung des oberen und unteren Sprunggelenks
Dritte Etage der Artikulation (Drake R.L. et al. 2007)

Das OSG, die *Articulatio talocruralis*, setzt sich zusammen aus den zwei Knochen des Unterschenkels Tibia und Fibula, welche den Talus, den dritten gelenkbildenden Knochen, umklammern und die sogenannte Malleolengabel bilden. Diese sichert und stabilisiert die Bewegungen des Fußes (Benninghoff und Drenckhahn 2003). Diese Knochen bilden ein Scharniergelenk mit einer Bewegungsachse, der Dorsalextension (Hebung des Vorfußes) bis 45° und der Plantarflexion (Senkung des Vorfußes) bis zu 60° .

Im USG, der *Articulatio talotarsalis*, welches sich aus der *Articulatio talocalaneonavicularis* und der *Articulatio subtalaris* zusammensetzt, bewegt sich der Fuß um eine weitere Achse: bei Supination wird der laterale Fußrand bis zu $30-40^\circ$ nach medial gedreht, bei Pronation wird der laterale Fußrand bis zu 20° nach lateral gedreht (Benninghoff und Drenckhahn 2003). Um die Pronation und Supination des ganzen Fußes zu ermöglichen, sind die Gelenke des Fußes funktionell miteinander verknüpft, so spielen hier auch die Tarsometatarsalgelenke und die Intermetatarsalgelenke eine Rolle. Zusammen gewährleisten die Gelenke des Fußes ein sicheres Gang- und Standbild (Rössler und Rüter 2007).

Zusätzlich wird das gesamte Sprunggelenk durch zahlreiche Bänder stabilisiert und gesichert. Diese teilen sich in drei Bandkomplexe auf: den lateralen (Abb. 3) und medialen (Abb. 4) Bandkomplex und die tibiofibuläre Syndesmose (Abb. 5) (Benninghoff und Drenckhahn 2003).

Der laterale Bandkomplex beinhaltet die *Ligamenta talofibulare anterior* und *posterior* und das *Ligamentum calcaneofibulare*. Diese Bänder rupturieren durch das o.g. Distorsionstrauma, einer Supination des Fußes.

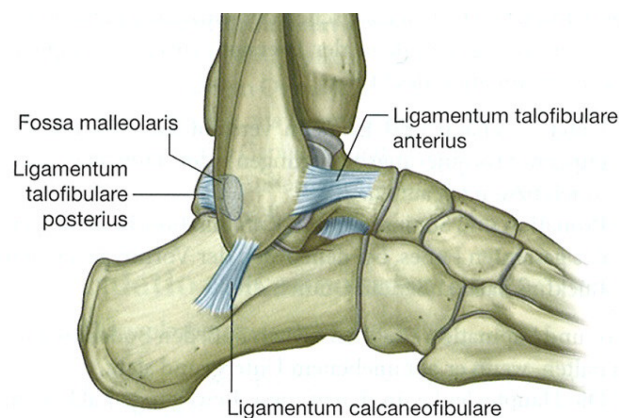


Abb. 3: Anatomische Darstellung des lateralen Bandkomplexes des Sprunggelenks
Lig. collaterale laterale (Drake R.L. et al. 2007)

Den medialen Komplex bildet das *Ligamentum deltoideus* (bzw. das *Ligamentum collaterale mediale*), dessen Anteile fächerförmig vom Malleolus medialis zu den Fußwurzelknochen ziehen. Das *Lig. deltoideus* kann bei übermäßiger Pronation rupturieren. Dies kommt aber

seltener isoliert vor, als eine Außenbandruptur im Falle eines Supinationstraumas (Niethard et al. 2009).

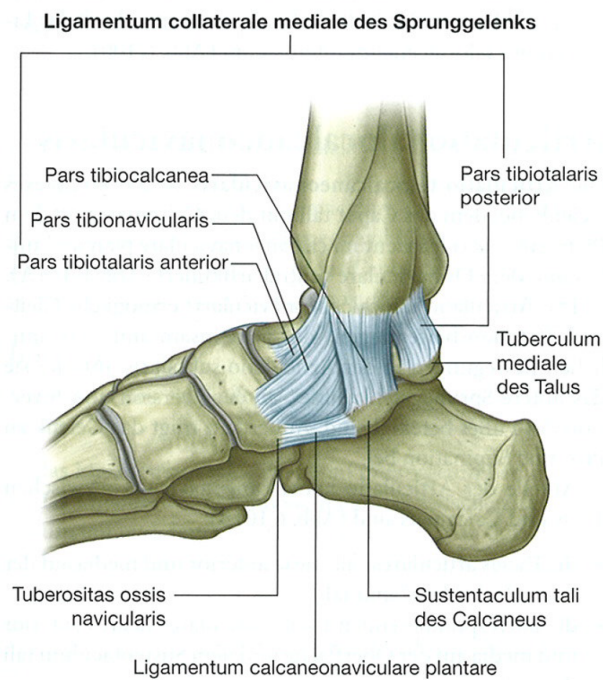


Abb. 4: Anatomische Darstellung des medialen Bandkomplexes des Sprunggelenks
Lig. collaterale mediale (Drake R.L. et al. 2007)

Der dritte Anteil des Bandapparates, die tibiofibuläre Syndesmose, stabilisiert die distale Articulatio tibiofibularis und setzt sich aus den folgenden vier Strukturen zusammen: dem Ligamentum tibiofibulare anterius inferius (engl.: anterior-inferior tibio fibular ligament = AITFL, sog. vordere Syndesmose), dem Ligamentum interosseum, dem Ligamentum tibiofibulare posterius inferius (engl.: posterior-inferior tibio fibular ligament = PITFL, sog. hintere Syndesmose) und dem Ligamentum transversum (Grass et al. 2000; Hermans et al. 2010a) (Abb. 5). Diese vier Bänder sichern das OSG (Articulatio talocruralis) und halten der hohen axialen Belastung beim Gehen und Stehen Stand.

Das AITFL und das PITFL, welche in der gleichen Faserrichtung wie die Membrana interossea cruris (Benninghoff und Drenckhahn 2003) verlaufen, bilden in dieser Studie den Schwerpunkt der Untersuchung, da sie die hauptverantwortlichen Stabilisatoren des OSG darstellen.

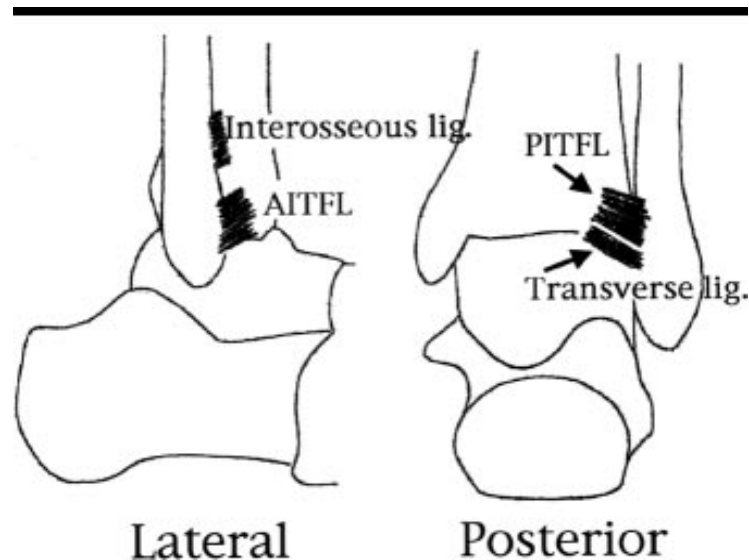


Abb. 5: Darstellung der unteren tibiofibularen Syndesmose mit Kennzeichnung der Lokalisation von Lig. interosseum, Lig. tibiofibulare anterior inferior (AITFL), Lig. tibiofibulare posterior inferior (PITFL) und Lig. transversum (Oae et al. 2003)

Das AITFL verläuft trapezförmig vom Tuberculum anterior der distalen Tibia bis zur Vorderfläche der Fibula am Malleolus lateralis. Die Fasern nehmen einen schrägen latero-distalen Verlauf mit einem Winkel von ca. 40°. Das Ligament besteht aus 3-4 Faseranteilen. Bindegewebe und Fett füllen die Lücken zwischen den Faserzügen. Das gesamte Band ist durchschnittlich 16mm lang und 13mm breit, wobei die Breite im Faserzug variiert und am fibularen Ansatz die schmalste Stelle aufweist (Ebraheim et al. 2006). Das Ligament weist eine hohe Stabilität auf, die Reißfestigkeit des Ligaments bei Frauen liegt bei 60kg und bei Männern ist diese 95kg (Best et al. 2013).

Das PITFL, als stärkstes Band der Syndesmose, beginnt am Tuberculum posterius der distalen Tibia und verläuft in einem etwa 20° Winkel nach kaudal und lateral und von anterior nach posterior zur Fossa malleoli lateralis der Fibula. Es weist eine Länge von ungefähr 20mm und eine Breite von 12-18mm auf. Mit einer Reißfestigkeit von 70kg bei Frauen und 120kg bei Männern, ist es widerstandsfähiger als das AITFL (Best et al. 2013).

Direkt kranial des Ligaments verläuft in gleicher Richtung das Lig. interosseum. Das Lig. interosseum wird nicht einheitlich von allen Autoren genannt, da es anatomisch die Fortsetzung der Membrana interossea cruris darstellt. In einigen Studien wird dem Band jedoch eine wichtige klinische Aufgabe zugesprochen: es enthält im Gegensatz zu den anderen Syndesmosenbändern zahlreiche elastische Fasern (Best et al. 2013). Das Ligament verläuft vom Tuberculum anterior der Tibia bis hin zur Fibula auf die Höhe der talokruralen Verbindung.

Das vierte Band der Syndesmose ist das fibrocartilaginäre Lig. transversum, welches kaudal an das PITFL angrenzt. Es beginnt unterhalb des PITFL an der hinteren Tibiakante und zieht horizontal zum Unterrand des Tuberculum posterius fibulae (Grass et al. 2000).

Im Detail ist die Funktion der Syndesmosenbänder die Führung der Fibula in der Incisura tibiae, sowie die Artikulation des Talus in der Malleolengabel (Xenos et al. 1995) zu stabilisieren. Sie ermöglichen einen exakten Gabelschluss und erhalten die Kongruenz der Malleolengabel bei axialer Belastung. Die Elastizität der Syndesmose wird durch das Lig. interosseum gewährleistet (Grass et al. 2000; Sauer et al. 1978; Henkemeyer et al. 1975).

Die genannten Gelenke und Bänder des Fußes ermöglichen zusammen die Stabilität und Sicherheit bei oberen Sprunggelenksbewegungen, der Dorsalextension, Plantarflexion, der Supination und Pronation und gewährleisten eine sichere knöcherne Führung des Talus in der Malleolengabel. Bei gleichmäßiger Kraftverteilung auf zwei Füßen besteht ein Kräftegleichgewicht, so dass es nur einer geringen Kraftausübung des Syndesmosenkomplexes bedarf, um einen sicheren Gabelschluss zu gewährleisten (Grass et al. 2000; Sauer et al. 1978).

1.3 Verletzungen der Syndesmose und deren Folgeschäden

Die tibiofibuläre Syndesmose kann durch verschiedene Verletzungsmechanismen gedehnt werden oder rupturieren. Eine isolierte Syndesmosenverletzung kann durch höhergradige Inversions-/ Supinationstraumata (Best et al. 2013) aber vor allem durch den sog. Pronations-Eversions-Mechanismus auftreten: einer forcierten Innenrotation mit gleichzeitiger Dorsalextension des Fußes (Zwipp 1994). Hierbei wird der Unterschenkel innenrotiert, während der in Eversion und Pronation fixierte Fuß dorsalflektiert wird (Abb. 6 und Abb. 7).



Abb. 6: Verletzungsmechanismus der Syndesmose
Der Unterschenkel wird nach innen rotiert, während der Fuß in Pronation und Eversion fixiert ist und nach dorsal flektiert wird (Grass et al. 2000)



Abb. 7: Beispiel des Pronation-Eversions-Mechanismus

Aufnahme während eines Fußballspiels, der linke Unterschenkel des rechten Spielers (gelbe Stutzen) wird durch die Krafteinwirkung des Beins des linken Spielers (schwarze Stutzen) nach innen rotiert, während der Fuß in Eversions- und Pronationsstellung dorsalflektiert wird (Best et al. 2013).

Verletzungen der Syndesmose ereignen sich besonders in Phasen der Bewegung, in denen die Malleolengabel nicht suffizient geschlossen ist oder wenn ein Außenrotationsstress auf den Unterschenkel einwirkt. Kommt es dabei zu einer Ruptur der Syndesmosenanteile, kann eine Diastase (griech.: diastasis: „Spalt“, „Auseinanderstehen“) der Malleolengabel entstehen. Hierbei weichen Tibia und Fibula auseinander, wodurch der Talus pathologisch bis zu 10° nach außen rotieren kann (Grass et al. 2000; Xenos et al. 1995). Außerdem wird eine Verschiebung der Fibula nach dorsal beobachtet (Xenos et al. 1995). Die Außenrotation und Valgisation des Talus führt zu einer Verminderung der artikulierenden Gelenkflächen und im Verlauf begünstigt dies die Entstehung einer Inkongruenzarthrose (Grass et al. 2000; Ney et al. 1987; Xenos et al. 1995).

Um die Auswirkung einer eingeschränkten Bandstabilität im OSG zu verdeutlichen, ist anzumerken, dass eine Lateralisation der Fibula um 1mm schon zu einer Verminderung des Gelenkflächenkontakts um 42-55% führt (Ney et al. 1987; Ramsey und Hamilton 1976; Riegels-Nielsen et al. 1983). Dies kann ebenfalls das Risiko der Entstehung einer Gelenksarthrose und damit verbundener Folgekomplikationen erhöhen. Da isolierte Syndesmosenverletzungen häufig als laterale Bandverletzungen fehlgedeutet und fehlbehandelt werden (Valkering et al. 2012), besteht in diesen Fällen umso mehr die Möglichkeit an Folgekomplikationen zu leiden. Eine Fehldeutung führt zu einem verlängerten Heilungsprozess der Syndesmose aufgrund von fehlender adäquater Therapie und Rehabilitation der Syndesmose und kann zu rezidivierenden chronischen Schmerzen im OSG führen. Die Syndesmosenverletzung wird hier häufig erst spät z.B. im Rahmen interventioneller Methoden wie einer Arthroskopie erkannt (Grass et al. 2000).

Rezidivierende Schmerzen können Ausdruck einer Arthrose oder einer chronischen Gelenkinstabilität, einer sog. CAI (Chronic Ankle Instability) verursacht durch eine Syndesmoseninsuffizienz sein. Eine CAI entsteht bei 20-40% der Patienten nach einem Distorsionstrauma des OSG (Hermans et al. 2010a). Bei 60-80% der Athleten in den Sportbereichen Fußball, Basketball, Volleyball und Rugby besteht das Risiko für eine Entstehung einer CAI (Ruchholtz und Wirtz 2013). Auch eine Osteochondrosis dissecans am Talus kann durch wiederholte Supinationstraumata mit Syndesmosenverletzung oder durch entstandene Knochen- und Knorpelschäden entstehen. Hierbei ist die mediale Taluskante häufiger als die laterale Seite betroffen (Rummeny et al. 2006).

Differentialdiagnostisch müssen bei Vorliegen eines schmerzhaften und geschwollenen OSG mediale und laterale Bänderdehnungen oder -rupturen, Frakturen der beteiligten Knochen oder Sehnen- und Muskelverletzungen ausgeschlossen werden. Speziell Pronationstraumata können auch zu Rupturen des Deltabandes, Frakturen des Malleolus medialis, Fibulafrakturen oder Sprunggelenksluxationen führen (Bücheler et al. 2006).

1.4 Diagnostik einer traumatischen Syndesmosenverletzung

1.4.1 Anamnese und funktionelle Untersuchung

Bei Patienten, die mit einer Sprunggelenksverletzung in die Notaufnahme kommen, wird zunächst die Unfallanamnese erhoben, d.h. der genaue Unfallhergang wird erfragt. Ebenso wird der Beginn, die Dauer, sowie der Charakter und die Lokalisation des Schmerzes erörtert (Niethard et al. 2009).

Nach der Anamnese folgt die Inspektion im Seitenvergleich. Bei Verdacht auf eine Syndesmosenruptur wird auf eine Weichteilschwellung, Schonhaltung und Bewegungseinschränkung geachtet, wenngleich diese klinischen Zeichen nicht spezifisch sind. Bei der Palpation wird auf Druckdolenz an bestimmten Triggerpunkten entlang des Bandverlaufs des Lig. tibiofibulare anterius und posterius geachtet. Vor allem im vorderen lateralen Gelenkspalt sind die Schmerzen bei einer Syndesmosenverletzung besonders ausgeprägt (Niethard et al. 2009). Zusätzlich wird - sofern die Schmerzsymptomatik dies zulässt - der Bewegungsumfang im OSG und USG geprüft. Bei vorliegender Syndesmosenverletzung zeigt sich eine Einschränkung des Bewegungsausmaßes, vor allem der Dorsalflexion.

Das Ziel einer funktionellen klinischen Untersuchung ist, durch Stresseinwirkung auf die Syndesmose deren Stabilität zu testen. In der Literatur werden diverse Funktionstests beschrieben, wie der „Squeezetest“, der Außenrotationstest nach Frick („ankle external rotation

stresstest“), der „Fibular translation test“ und der „Cottontest“. Sman et al. beschreiben eine klinische Relevanz in der Diagnosestellung einer Syndesmosenverletzung mittels Squeezetest, bei dem der Untersucher eine Kompression auf Fibula und Tibia ausgehend von der Mitte des Unterschenkels fortlaufend nach distal ausübt. Bei Schmerzen, welche durch eine erhöht einwirkende Spannung auf die distalen Syndesmosenbänder resultieren, ist der Test positiv. Beim Außenrotationstest nach Frick wird einer der häufigsten Verletzungsmechanismen der Syndesmosenverletzung imitiert (Sman et al. 2013). Bei diesem Test wird der Unterschenkel fixiert, während der Untersucher den Fuß passiv nach außen dreht. Wenn der Schmerz über der anterioren oder posterioren Syndesmose ausgelöst werden kann, ist dieser Test positiv (Williams und Allen 2010). Nach Literaturangaben scheint der Fricktest die höchste Sensitivität zu haben (Alonso et al. 1998; Brosky et al. 1995; Fallat et al. 2009). Beumer et al. beschreiben, dass dieser Test die Unterscheidung zwischen einer normalen und einer verletzten Syndesmose aufgrund des vergrößerten Gelenkspalts ermöglicht. Er stellt diesen als den einzigen Test mit diagnostischer Wertigkeit dar (Beumer et al. 2003). Sman et al. beschreiben außerdem eine geringe Untersuchervariabilität der Testergebnisse (Sman et al. 2013). Ein positiver Squeezetest und Außenrotationstest weisen eine geringe Sensitivität aber hohe Spezifität zur Diagnose einer Syndesmosenverletzung auf (César et al. 2011). Außerdem kann es zu einer verzögerten Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des OSG bei Patienten mit einem positiven Ergebnis dieser beiden Tests kommen (César et al. 2011).

Beim Cottontest wird der Talus vom Untersucher passiv von medial nach lateral bewegt. Bei übermäßiger Bewegung oder Schmerzauslösung gilt der Test als positiv. Auch beim „Fibular translation test“ führt eine vermehrte antero-posteriore Bewegungstendenz der Fibula gegenüber der Tibia oder Schmerzauslösung zu einem positiven Testergebnis.

Wichtig sind die klinischen Untersuchungen nicht nur für die initiale Diagnose, sondern sie können auch zur Verlaufskontrolle während der Rehabilitationsphase herangezogen werden, um den Heilungsfortschritt zu beurteilen. Hinsichtlich einer effizienten Rehabilitation von Athleten und Leistungssportlern wird berichtet, dass eine Verlaufsbeurteilung entscheidend ist um die Therapie anzupassen (Williams und Allen 2010). Die Testdurchführung ist aufgrund der großen Schmerzen bei akutem Trauma des Fußes oft erschwert, weshalb die funktionellen Tests insgesamt nur eine geringe Sensitivität (13,9%-55,6%) aufweisen (Großterlinden et al. 2015). Aus diesem Grund und bei bestehendem Verdacht auf eine Verletzung des Syndesmosenkomplexes werden im nächsten Schritt bildgebende Verfahren herangezogen um die Verdachtsdiagnose zu erhärten bzw. knöcherne Sprunggelenksverletzungen auszuschließen.

1.4.2 Konventionelle Röntgendiagnostik

Ein wichtiger Bestandteil der Basisdiagnostik nach Sprunggelenktraumata ist nach Anamnese und klinischer Untersuchung die Röntgen-Diagnostik (Bücheler et al. 2006). Denn trotz Durchführung der o.g. funktionellen Tests kann der Untersucher häufig noch keine sichere Aussage über eine Verletzung der Syndesmose machen (Sman et al. 2013).

Bei Sprunggelenksverletzungen wird routinemäßig ein Röntgenbild erstellt um sprunggelenksnahe Frakturen oder auch degenerative und entzündliche Prozesse auszuschließen (Reiser et al. 2011). Weichteilverletzungen sind dagegen mit dieser Methode nur indirekt zu erfassen. Eine Ruptur der distalen tibiofibularen Syndesmose kann prinzipiell mittels Röntgenaufnahme diagnostiziert werden, worauf im Verlauf noch eingegangen werden soll (Waldt et al. 2011).

Die Röntgenuntersuchung des OSG wird mit relativ weicher Strahlung, bei einer Spannung von 55 kV durchgeführt. Um das Röntgenbild zu erzeugen, werden heutzutage Röntgenstrahlen weitestgehend durch Flachbettdetektoren direkt digital umgesetzt. Hierdurch verbessert sich zum einen die Bildauflösung und zum anderen kann die Strahlendosis gegenüber den älteren Film-Folien-Systemen um 30-50% gesenkt werden.

Standard nach einem Trauma des OSG ist die Röntgendiagnostik in zwei Ebenen (a.-p. mit 20° Innenrotationsstellung und lateraler Strahlengang). Durch die Innenrotationsstellung wird der Gelenkspalt des OSG erst einsehbar und ermöglicht eine symmetrische, überlagerungsfreie Abbildung der knöchernen Gelenkränder. Vor allem können dadurch osteochondrale Läsionen ausgeschlossen werden. Eine vorliegende Schwellung des Weichteilmantels im Röntgenbild kann indirekt auf eine Bandläsion oder Fraktur hinweisen. Eine sichtbare Kortikalisschädigung oder eine Änderung der Knochendichte mit Mehrtransparenz sind ebenfalls wichtige Zeichen für eine vorliegende Fraktur (Reiser et al. 2011).

Zur Beurteilung einer Syndesmosenverletzung im Röntgenbild existieren Messparameter von denen drei hervorzuheben sind: der Tibio-fibular clear space (TFCS), der Tibio-fibular overlap (TFO) und der Medial clear space (MCS). Pathologische Werte dieser Parameter können Hinweis auf einen erweiterten Gelenkspalt zwischen Tibia und Fibula geben, wie er im Rahmen einer Syndesmosenverletzung durch oben beschriebene Mechanismen verursacht sein kann (Reiser et al. 2011). Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass sich die Referenzwerte in der Literatur auf Fälle beziehen, in denen gleichzeitig eine sprunggelenksnahe Fraktur vorlag. Diese Messparameter wurden bisher nicht hinsichtlich der Bewertung einer isolierten Syndesmosenverletzung, also ohne Vorliegen knöcherner Instabilitäten des OSG, untersucht.

1.4.3 Magnetresonanztomographie (MRT)

Zur posttraumatischen Abklärung einer Band- oder Syndesmosenverletzung kann eine Magnetresonanztomographie des OSG erfolgen. Dieses Schnittbildverfahren ist aufgrund des hohen Weichteilkontrastes für die Darstellung von Sehnen, Muskel und Bändern besonders gut geeignet, insbesondere da es auch die Bilderstellung in verschiedenen Raumebenen ermöglicht. Auch Frakturen können mittels MRT Aufnahmen sicher diagnostiziert werden. Bei Verdacht auf entzündliche, tumoröse oder traumatische Läsionen der Knochen und Weichteile, besteht ebenfalls die Indikation einer MRT Untersuchung mit der zusätzlichen Option einer intravenösen Kontrastmittelapplikation zur Verbesserung des Weichteilkontrastes und Gewebedifferenzierung (Reiser et al. 2011).

Die MRT basiert auf den Eigenschaften von Atomkernen mit ungerader Nukleonenzahl, den Wasserstoffprotonen (H^+). Diese sind für die Bildgebung besonders geeignet, da Wasserstoff das am häufigsten vorkommende Element im menschlichen Körper ist und somit viel dieser bildgebenden Materie zur Bilderzeugung vorhanden ist. Wasserstoffprotonen, die sich im Kern des Atoms befinden, haben die Eigenschaft des Spins, ein sog. Eigendrehimpuls, welcher aufgrund der sich drehenden Ladung ein magnetisches Moment darstellt und für die Bilderzeugung genutzt wird. Um die Wasserstoffprotonen und deren magnetischen Vektor auszurichten, existiert ein starkes externes Magnetfeld innerhalb des MRT-Untersuchungsraumes. Übliche Magnetfeldstärken im Rahmen klinischer Bildgebung sind 1,5 und zunehmend 3 Tesla (T). Innerhalb des starken Magnetfelds richten sich die Gewebeprotonen parallel bzw. antiparallel dazu aus. Durch einen Hochfrequenzimpuls werden die Protonen (und somit deren magnetischer Vektor) aus der Longitudinalachse in die Transversalachse ausgelenkt. Durch diese Auslenkung eines magnetischen Momentes innerhalb eines konstanten Magnetfeldes wird eine Spannung in der Empfangsspule des MRT induziert, welche das MRT-Signal darstellt. Während der sog. Relaxation (in longitudinaler und transversaler Ebene) kehren die Protonen in die Längsmagnetisierung zurück und stehen für eine erneute Anregung zur Verfügung. Die Zeit zwischen der Anregung durch den Impuls und der Signalaufnahme heißt Echozeit (TE) und die Zeit zwischen den Anregungen wird Repetitionszeit (TR) genannt. Um genügend Signale für die Bilderzeugung zu erhalten werden mehrere Hochfrequenz-Impulse in Folge ausgesendet. Die aufgenommenen Signale der Spule werden an das Rechnersystem weitergeleitet, welche das Bild rekonstruieren.

Durch die jeweiligen Gewebecharakteristika (spezifische T1- und T2- Relaxationszeiten) und gewählte Sequenzparameter (TR, TE) wird der Bildkontrast bestimmt. Eine T1- gewichtete Sequenz weist eine kurze TR und TE auf, wodurch Wasser hypointens (dunkel) und Fett hy-

perintens (hell) erscheint. Die T2 gewichtete Sequenz ist durch eine längere TR und TE gekennzeichnet. Hier erscheint Wasser hyperintens und Fett weiterhin hyperintens. Eine PD-Wichtung (proton density) wird durch eine lange TR und eine kurze TE charakterisiert, wodurch besonders Gewebe mit einer hohen Protonendichte (Wasser, Bindegewebe) hyperintens erscheinen, während protonenarme Gewebe wie Knochen hypointens dargestellt werden (Reiser et al. 2011; Bücheler et al. 2006).

Um Signalalterationen der Syndesmose kontrastreich darzustellen, können prinzipiell T1- oder T2- gewichtete Sequenzen verwendet werden. Bei Verletzung des AITFL und des PITFL ist auf der T1- gewichteten Aufnahme eine Hypointensität im Verlauf des Ligaments erkennbar (Evans und Schucany 2006). Auf der T2- und PD- gewichteten Aufnahme ist dagegen eine Signalanhebung mit Hyperintensität des Ligaments zu erkennen, die dem Ödem bzw. einer Einblutung entspricht (Rummeny et al. 2006).

Die MRT erlaubt darüberhinaus die Diagnostik von Begleitverletzungen, wie etwa einem traumatischen Knochenmarksödem (sog. „bone bruise“) oder einer Avulsionsfraktur (Evans und Schucany 2006; Muhle et al. 1998), welches auch für diese Studie genutzt wurde.

Zur MRT-Untersuchung des OSG werden die Patienten durch den Arzt über die Untersuchung aufgeklärt. Bei Patienten mit elektrischen oder ferromagnetischen Implantaten, wie Herzschrittmachern, Cochleaimplantaten oder Medikamentenpumpen kann keine MRT Untersuchung durchgeführt werden. Eine Schwangerschaft vor allem im ersten Trimenon stellt eine Kontraindikation dar.

Jeder Patient wird in Rückenlage mit den Füßen voran auf dem Patiententisch des MRT gelagert. Die Position sollte möglichst physiologisch und bequem sein, weil der Patient für die Untersuchungszeit ruhig in der Position verharren muss. Zur Fixierung des Fußes können zusätzlich Sandsäcke verwendet werden um Bewegungen während der Untersuchung und somit Artefakten vorzubeugen. Eine Extremitäten-Oberflächenspule wird als Empfangsspule ausgewählt und in der zu untersuchenden Region platziert, um das OSG möglichst präzise darzustellen. Um einer Geräuschbelästigung durch die Untersuchungsgeräusche der geschalteten Spulen und Gradienten vorzubeugen, werden Patienten bei dieser Untersuchung mit Hörschutz (Ohrenstöpsel und Kopfhörer) ausgestattet.

Die Bilderstellung, -dokumentation und -Archivierung der Bilder erfolgt durch die MTA, während die Befunderstellung durch den Radiologen erfolgt. Die gesamte Untersuchung des Sprunggelenkes dauert in Abhängigkeit der gewählten Untersuchungssequenzen ca. 15 Minuten.

1.5 Fragestellung und Hypothesen

In Kooperation mit der unfallchirurgischen Abteilung wurden Patienten in diese prospektive Studie eingeschlossen, die sich in einem Zeitraum zwischen April und Oktober 2011 nach einem Sprunggelenktrauma in der Notaufnahme des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf vorstellten. Nach einer klinischen Untersuchung erfolgte zunächst eine projektionsradiographische Untersuchung in 2 Ebenen (a.-p. mit 20° Innenrotationsstellung und lateraler Strahlengang) und eine native MRT Untersuchung (ohne intravenöses Kontrastmittel), jeweils innerhalb von 24 Stunden nach dem traumatischen Ereignis.

Ausschlusskriterien waren Patienten mit Frakturachweis im Röntgenbild oder anderen knöchernen Verletzungen wie z.B. einer traumatischen Osteochondrosis dissecans sowie Patienten mit bereits stattgehabten Operationen am Sprunggelenk oder anamnestisch vorbekannten Syndesmosenverletzungen.

Die drei zur Bewertung einer isolierten Syndesmosenverletzung angewandten röntgenologischen Messparameter waren der Tibio-fibular clear space (TFCS), der Tibio-fibular overlap (TFO) und der Medial clear space (MCS).

Die als diagnostischer Goldstandard durchgeführte MRT des OSG wurde hinsichtlich pathologischer Veränderungen der Syndesmose (AITFL und PITFL) analysiert, wobei eine Verletzung der Syndesmose in Bezugnahme auf die Literatur (Langner et al. 2010; Valkering et al. 2012; Hermans et al. 2011) in die folgenden vier Grade eingeteilt wurden:

0. intaktes Ligament
- 1a. periligamentäres Ödem
- 1b. intraligamentäres Ödem
2. Partialruptur
3. vollständige Ruptur.

Zusätzlich wurden die MRT Aufnahmen hinsichtlich knöcherner Begleitverletzungen geprüft.

Diese Studie evaluiert die diagnostische Genauigkeit der Projektionsradiographie in zwei Ebenen im Vergleich zur Referenzmethode der MRT hinsichtlich einer isolierten Syndesmosenverletzung ohne begleitende Fraktur nach Sprunggelenktrauma. Die röntgenologischen Messparameter sind bisher nicht explizit in einem Patientenkollektiv mit rein isolierten Syndesmosenverletzungen (ohne begleitende Fraktur) angewandt worden. Die Referenzwerte der Messparameter basieren auf Untersuchungen mit zumeist vorliegender Fraktur, wobei in die-

sem Fall von einer vermehrten Gelenkinstabilität auszugehen ist. Die Hypothese ist, dass bei nur isolierten Syndesmosenverletzungen die röntgenologischen Parameter somit von der bisherigen Literatur abweichende pathologische Werte aufweisen könnten. Diese Thematik wurde bis zuletzt in der Literatur noch nicht dezidiert untersucht.

Folgende Fragestellungen sollen in dieser Arbeit diskutiert werden:

1. Wie hoch ist die Inzidenz isolierter Syndesmosenverletzungen nach Sprunggelenkstrauma?
2. Können isolierte Syndesmosenverletzungen mittels Röntgendiagnostik verlässlich erkannt werden?
3. Welche röntgenologischen Messparameter haben die höchste diagnostische Wertigkeit?
4. Was sind optimale Referenzwerte der röntgenologischen Parameter zur Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung?
5. Wie häufig liegen röntgenologisch okkulte Begleitverletzungen im Rahmen einer isolierten Syndesmosenverletzung vor, die nur mittels MRT verlässlich diagnostiziert werden können?

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

In diese prospektive Studie wurden 84 erwachsene Patienten eingeschlossen, die sich nach einem Distorsionstrauma des OSG in der chirurgischen Notfallaufnahme des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf vorstellten. Zu Beginn dieser Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg vor. Die eingeschlossenen Patienten wurden studienbezogen aufgeklärt und gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie. Ausgeschlossen wurden Patienten, die eine sprunggelenknahe Fraktur in der Röntgenaufnahme zeigten, sowie Patienten mit anamnestisch vorbekannter Syndesmosenverletzung oder Patienten, die zuvor einer chirurgischen Intervention am OSG unterzogen worden waren. Patienten mit Kontraindikationen für eine MRT Untersuchung (z.B. Herzschrittmacher-Implantat, Klaustrophobie) wurden ebenfalls von der Studienteilnahme ausgeschlossen.

Um die diagnostische Wertigkeit des konventionellen Röntgens zur Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung im Vergleich zur Referenzmethode der MRT zu evaluieren, wurde von allen 84 Patienten mit Sprunggelenktrauma eine digitale Röntgenaufnahme in zwei Ebenen und eine native MRT Aufnahme (ohne Kontrastmittel) des verletzten OSG innerhalb von 24 Stunden nach dem Trauma angefertigt.

2.2 Projektionsradiographie

Die digitale Projektionsradiographie des OSG wurde an einem digitalen Radiographiesystem (DigitalDiagnost, Philips, Niederlande) in anterior - posteriorem Strahlengang mit einer 15-20° Innenrotationsstellung des Fußes erstellt (sog. „mortise view“ im anglo-amerikanischen Sprachraum). Die leichte Innenrotationsstellung des Fußes ermöglicht eine überlagerungsfreie Darstellung der Trochlea tali und der Gelenkflächen beider Malleolen (Reiser et al. 2011), sowie einer optimalen Darstellung einer traumatisch entstandenen Diastase (Lynch 2014). Eine weitere Projektionsradiographie des OSG erfolgte im lateralen Strahlengang, um eine Evaluation der knöchernen Strukturen in zwei senkrecht zueinander liegenden Ebenen zu gewährleisten.

Die Röntgenaufnahmen werden nach hausinternem Standardprotokoll für das OSG mit einer Röhrenspannung von 55 kV, einem Röhrenstrom von 3 mA und einer Belichtungszeit von 38,9 ms aufgenommen.

Die konventionell-radiologischen Aufnahmen wurden an zur diagnostischen Befundung zugelassenen Befundungsmonitoren ausgewertet. Zur Messung der beschriebenen Parameter wurde eine Befundungssoftware (Centricity PACS-IW V. 3.7.3.7. Plus, GE Healthcare, USA) mit digitalem Messwerkzeug verwendet.

Zunächst erfolgte die Begutachtung der Röntgenaufnahmen hinsichtlich akuter posttraumatischer oder älterer knöcherner Läsionen durch einen Radiologen mit 5 Jahren Erfahrung in der muskuloskelettalen Radiologie. Konnten diese ausgeschlossen werden (unauffälliger knöcherner Status), erfolgte die Evaluierung einer eventuellen isolierten Syndesmosenverletzung. Zur Bewertung einer Syndesmosenverletzung wurden der Tibio-fibular clear space (TFCS), der Tibio-fibular overlap (TFO) und der Medial clear space (MCS) wie folgt im Röntgenbild (a.p.-Ansicht) in horizontaler Ebene vermessen:

Der TFCS wird ca. 10 mm oberhalb der distalen knöchernen tibialen Gelenkfläche von der medialen Begrenzung der Incisura fibulae der Tibia ausgehend bis zur medialen Begrenzung der Fibula gemessen (Abb. 8 (1)). Der TFO ist der Abstand zwischen dem distalen Tuberculum anterior der Tibia und der medialen Begrenzung der Fibula und wird ebenfalls ca. 10 mm über dem artikulierenden Tibiaplateau gemessen (Abb. 8 (2)). Der MCS definiert den Abstand zwischen der lateralen Seite des medialen Malleolus und der medialen Begrenzung der Talusgelenkfläche, gemessen ca. 5 mm unterhalb der Talusrolle (Abb. 8 (3)) (Beumer et al. 2004; Hermans et al. 2010b).



Abb. 8: Röntgenaufnahme des OSG eines 25-jährigen Patienten in a.-p. Strahlengang mit 15-20° Innenrotationsstellung ohne Syndesmosenverletzung. Gekennzeichnet sind exemplarisch die röntgenologischen Messparameter zur Bewertung einer Syndesmosenverletzung: 1= Tibio-fibular overlap (TFO), 2 = Tibio-fibular clear space (TFCS), 3= Medial clear space (MCS) (Schoennagel et al. 2014).

Die Röntgenaufnahmen wurden hinsichtlich der genannten Messparameter von zwei Untersuchern, einem Radiologen mit 5 Jahren Erfahrung, und einem Untersucher ohne Erfahrung aber mit ausführlicher Einarbeitung und Instruktion über die Durchführung der Messungen, unabhängig voneinander (geblindet) ausgewertet.

2.3 Magnetresonanztomographie

Die in dieser Studie durchgeführte MRT des OSG diente neben der Evaluation einer Syndesmosenverletzung mit entsprechender Schweregradeinteilung (s.u.) dem Nachweis von Begleitverletzungen wie z.B. Knochenkontusionen oder osteochondralen Verletzungen.

Die MRT Untersuchungen der Patienten wurden innerhalb von 24 Stunden nach dem Sprunggelenktrauma angefertigt, um eine optimale Vergleichbarkeit der bildgebenden Modalitäten

zu gewährleisten. Die MRT Aufnahmen des OSG wurden an einem Hochfeld 3 Tesla Magnetresonanztomographen (Ingenia, Philips Healthcare, Best, Niederlande) unter Verwendung einer Flex-M Oberflächenspule akquiriert.

Der zu untersuchende Fuß wurde in Neutral-0-Position bzw. leichter Supinationsstellung mittels eines Sandsackes fixiert, um Bildartefakte durch Bewegungen vorzubeugen. Nach den initialen Localizer Sequenzen zur Schichtplanung bestand das Untersuchungsprotokoll aus folgenden diagnostischen Sequenzen:

- 1.) 2D Short-Tau-Inversion-Recovery (STIR) Sequenz in sagittaler Schichtebene mit den folgenden Sequenzparametern (Tabelle 1):

Tabelle 1: Parameter der 2D STIR Sequenz

Parameter	Einstellung
TI	180 ms
TR	3496 ms
TE	55 ms
TSE Factor	13
Field of View	200 mm
Schichtdicke/Schichtabstand	3 mm

- 2.) 3D Proton Density Weighted (PDW) VISTA (volume isotropic spin echo turbo acquisition) in sagittaler Schichtführung mit Rekonstruktion von axialen, sagittalen, und koronaren multiplanar reformatierten (MPR) Aufnahmen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Parameter der 3D PD Vista Sequenz

Parameter	Einstellung
TR	1300 ms
TE	38 ms
Flipwinkel	90°
SPAIR TR	1300 ms
Voxle size	0,6 x 0,7 x 0,4 mm
Field of view	140 mm
Oversample factor	1,4
Schichten	225
Schichtdicke	1 mm

Die Untersucher der MRT, hier zwei Radiologen mit jeweils 5 bzw. 10 Jahren Erfahrung in der muskuloskelettalen Bildgebung, evaluierten das AITFL und das PITFL unabhängig voneinander (geblindet) und ordneten die Befunde der in der Literatur gebräuchlichen vierstufigen Graduierung zu (Hermans et al. 2011; Langner et al. 2010) (Tabelle 3).

Grad 0: intakte Syndesmose mit kontinuierlichen Fasern.

Grad 1: periligamentäre (Grad 1a) oder intraligamentäre (Grad 1b) hyperintense Signalveränderungen des Ligaments in ödemsensitiven Aufnahmen, hinweisend auf ein posttraumatisches Ödem oder eine Einblutung.

Grad 2: wellenförmiger oder kurviger Verlauf des Ligaments, entsprechend einer Partialruptur.

Grad 3: diskontinuierliche Fasern oder nicht mehr abgrenzbares Ligament im Sinne einer kompletten Ruptur

MRT-Bildbeispiele für jeweilige Verletzungsgrade finden sich in Abb. 9.

Nach Oae et al. wurde eine Syndesmosenverletzung als solche definiert, wenn zumindest eine Partialruptur oder eine komplette Ruptur vorliegt, gemäß dem Stadium 2 oder 3 (Oae et al. 2003).

Die Beurteilung der Integrität des Lig. transversum wurde nicht in die Studiauswertung mitaufgenommen, da es erfahrungsgemäß häufig nicht eindeutig in der MRT Bildgebung differenziert werden kann (Oae et al. 2003; Takao et al. 2003).

Tabelle 3: Stadieneinteilung zur Beurteilung der tibiofibularen Syndesmose mittels MRT

Grad	Charakteristische MRT-Befunde
0	intaktes Ligament ohne Signalalteration
1a	hyperintense Signalveränderungen mit periligamentärem Ödem
1b	hyperintense Signalveränderungen mit intraligamentärem Ödem
2	Partialruptur des Ligaments mit wellenförmigem Verlauf
3	Kompletttraktur des Ligaments mit diskontinuierlichen oder nicht abgrenzbaren Fasern

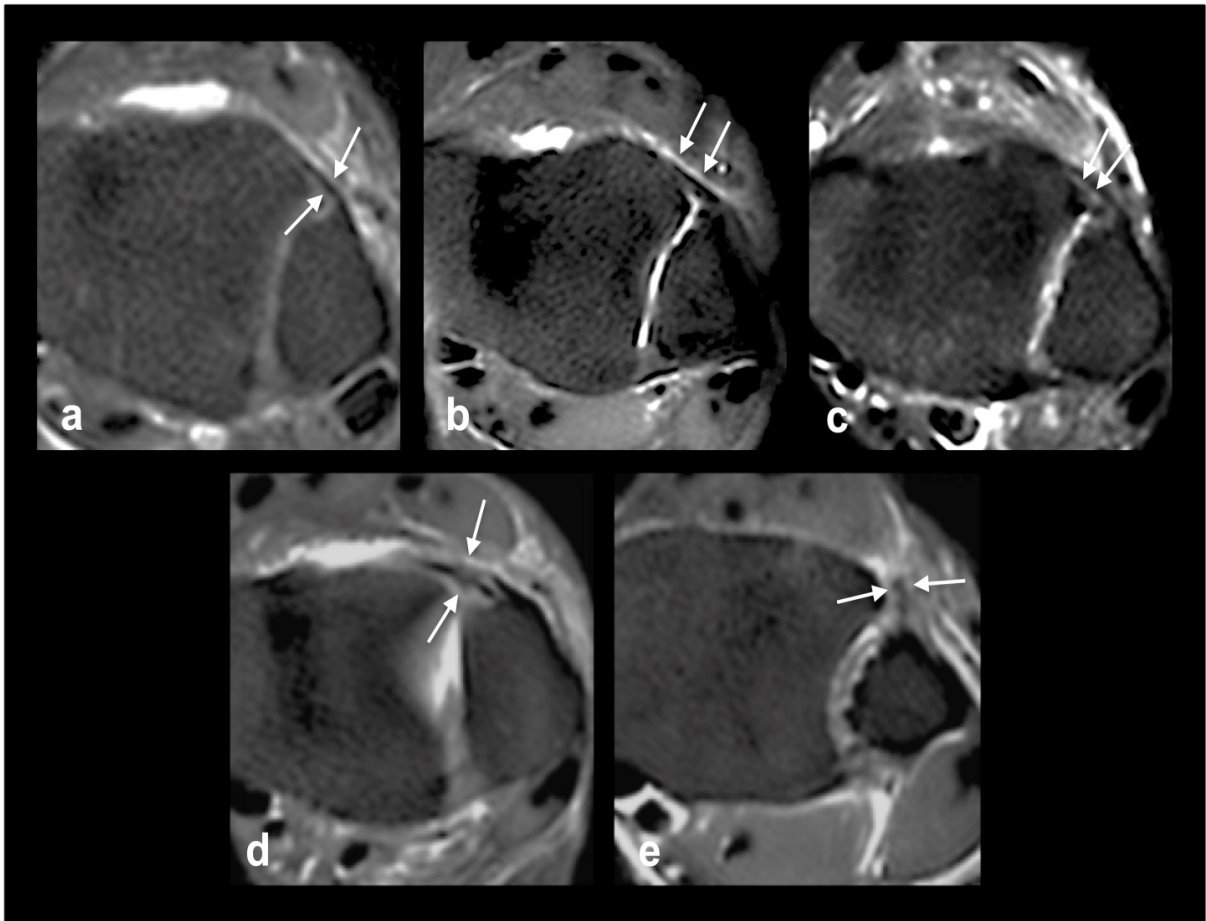


Abb. 9: 3 Tesla MRT-Aufnahmen (axiale Reformation/ MPR der 3D PDW-VISTA Sequenz) zur Illustration der Graduierung einer Syndesmosenverletzung (insb. AITFL):

- a) Stadium 0: intakte Syndesmose, b) Stadium 1a: periligamentäre Signalanhebung aufgrund eines Ödems (Pfeile), c) Stadium 1b: intraligamentäre ödematöse Signalanhebung und verdicktes Ligament (Pfeile), d) Stadium 2: irreguläres und verdicktes (Pfeile) aber kontinuierliches Ligament bei Partialruptur des AITFL, e) Stadium 3: diskontinuierliches Ligament bei Komplettruptur des AITFL (Schoennagel et al. 2014)

2.4 Statistische Auswertung

Kontinuierliche Ergebniswerte (z.B. Messwerte) wurden als Mittelwert inklusive der Standardabweichung (SD) angegeben und kategoriale Werte als Ziffern und/oder Prozentzahlen. Die Normalverteilung bzw. Streuung der Daten (z.B. Referenzparameter TFCS, TFO und MCS) wurde mittels des Shapiro-Wilk Test beurteilt und ergab eine Normalverteilung für TFCS und TFO. Der t-Test für unabhängige Stichproben wurde verwendet, um den p-Wert für unterschiedliche Gruppen bzgl. TFCS und TFO (z.B. Patienten mit und ohne Syndesmosenverletzung) zu berechnen. Für die Berechnung des p-Wertes des MCS wurde der nicht parametrische Mann-Whitney-U Test herangezogen.

Die Odds Ratios für Patienten mit begleitender Sprunggelenksverletzung bei Syndesmosenverletzung im Vergleich zu Patienten ohne Syndesmosenverletzung wurde mittels des Chi-Quadrat-Test berechnet.

Die Sensitivität und Spezifität, der positive und negative prädiktive Wert für TFCS, MCS und TFO wurden unabhängig für jeden der Parameter bestimmt sowie in Kombination für pathologisch erhöhte Werte von TFCS und MCS.

Die Untersucherabhängigkeit für die Messwerte TFCS, MCS und TFO wurde mittels Bland-Altman Analyse bestimmt und der Bias sowie die obere und untere Grenze der Übereinstimmung für jeden Parameter in Millimetern angegeben. Der Grad der Übereinstimmung von Messwerten wurde mittels Cohens Kappa ermittelt.

Für die Parameter TFCS, TFO und MCS wurde eine ROC-Analyse durchgeführt. Die Fläche unterhalb der Kurve (area under the curve; AUC) und der optimale Grenzwert eines jeden Parameters wurde mittels Youden Index bestimmt. Ein p-Wert < 0.05 wurde als statistisch signifikant definiert. Die statistische Analyse geschah mittels SPSS Software- Programm (IBM® inc., V. 20). Bland-Altman Graphen wurden mit MedCalc software V.12.7 erstellt (MedCalc Software, Ostende, Belgien).

3 Ergebnisse

Im angegebenen Studienzeitraum wurden 84 erwachsene Patienten in die Studie eingeschlossen, davon waren 33 Frauen und 51 Männer. Die Patienten waren zwischen 18 und 58 Jahre alt (Mittelwert: $32,8 \pm 9,9$ Jahre).

Die Sprunggelenksverletzung ereignete sich nach anamnestischen Angaben der Patienten meist bei sportlichen Aktivitäten (Basketball, Fußball, Badminton) oder seltener durch einen Treppen- oder Fahrradsturz. 76 Patienten (63,84 %) verletzten sich am Knöchel durch eine Supination des Fußes, während 8 (6,72%) Patienten eine Pronation als Unfallmechanismus angaben. Die Gehfähigkeit war bei 19 Patienten (7,56%) aufgehoben, während der größere Teil von 64 Patienten (53,76%) (1 Patient ohne Angabe) ohne Gehhilfe laufen konnte.

Zuerst werden im Folgenden die Ergebnisse der MRT Aufnahmen aufgeführt, da diese den diagnostischen Referenzstandard bilden, daraufhin folgen die Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen.

3.1 Magnetresonanztomographie

3.1.1 Inzidenzen der Syndesmosenverletzung

Mittels MRT Aufnahmen konnte bei insgesamt 11 von 84 Patienten (13,1%) eine Syndesmosenverletzung im Sinne einer Verletzung zweiten oder dritten Grades diagnostiziert werden. Das AITFL war bei allen 11 Patienten betroffen, 7 (8,3%) der Patienten hatten eine Teilruptur (Grad 2) und bei den anderen 4 (4,8%) Patienten wurde eine komplette Ruptur (Grad 3) diagnostiziert (Tabelle 4). Ein peri- bzw. intraligamentäres Ödem (Grade 1a und 1b) wiesen 45 von 84 Patienten (37,8%) auf. Hierbei lag bei 14 (16,7%) ein periligamentäres Ödem (Grad1a) und bei 31 (36,9%) ein intraligamentäres Ödem vor. Eine intakte vordere Syndesmose (Grad 0) wurde bei 28 (33,3%) Patienten festgestellt. Im Vergleich war das PITFL deutlich seltener beeinträchtigt, als das AITFL. Nur bei einem (1,2%) der Patienten wurde eine Teilruptur (Grad 2) diagnostiziert. Bei diesem Patienten lag gleichzeitig auch eine komplette Ruptur (Grad 3) des AITFL vor. Weitere 8 Patienten (9,5%) wiesen ein periligamentäres Ödem (Grad 1a) und 17 (20,2%) Patienten ein intraligamentäres Ödem (Grad 1b) auf. Die folgende

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die in unserem Patienten kollektiv aufgetretenen Häufigkeiten der Syndesmosenverletzungen.

Tabelle 4: Inzidenzen der Verletzungen des AITFL und des PITFL im Studienkollektiv (n = 84) entsprechend der Einteilung in 4 Grade.

	AITFL (%)	PITFL (%)
Grad 0	28 (33,3%)	8 (69%)
Grad 1a	14 (16,7%)	8 (9,5%)
Grad 1b	31 (36,9%)	17 (20,2%)
Grad 2	7 (8,3%)	1 (1,2%)
Grad 3	4 (4,8%)	-

3.1.2 Begleitverletzungen

Mittels MRT Aufnahmen wurden insgesamt 8 knöcherne bzw. chondrale Begleitverletzungen diagnostiziert, die in der initialen Röntgenuntersuchung nicht nachgewiesen werden konnten. Osteochondrale Läsionen lagen bei 3 Patienten, röntgenologisch okkulte Frakturen bei weiteren 3 Patienten (zwei Frakturen des Malleolus medialis, eine Fraktur der distalen Tibia) und Avulsionsverletzungen bei 2 Patienten (distale Fibula und Talus) vor.

Von diesen 8 knöchernen bzw. osteochondralen Begleitverletzungen wurden 3 (27,3%) bei Patienten mit einer Syndesmosenverletzung (Grade 2 und 3) detektiert, während die restlichen 5 (6,8%) bei Patienten ohne Syndesmosenverletzung (Grade 0 und 1) auftraten. Das Risiko einer derartig assoziierten Gelenksverletzung war somit 5,4-fach höher für Patienten mit Syndesmosenverletzung im Vergleich zu Patienten ohne Syndesmosenverletzung. Dieser Unterschied lag knapp oberhalb des definierten Signifikanzniveaus ($p = 0,07$).

3.2 Projektionsradiographie

3.2.1 TFCS

Der mittlere TFCS Wert für beide Untersucher betrug bei Patienten mit einer Syndesmosenverletzung (Grad 2 und 3 nach Oae et al. 2003) 5,8 mm ($\pm 1,1$). Für Patienten ohne eine Syndesmosenverletzung lagen die mittleren Messwerte bei 4,5 mm ($\pm 1,1$), welches einem signifikanten Unterschied entsprach ($p = 0,003$) (Abb. 10). Die Bland-Altman Analyse für TFCS-Messungen ergab einen Fehler/Bias von -0,04 mm und eine obere und untere Grenze der Übereinstimmung von 1,53 und -1,54 (Abb. 11a). Die Untersuchervariabilität ergab eine gute Übereinstimmung mit einem Kappa Wert von 0,73. Der berechnete Grenzwert für TFCS zur

Erkennung einer Syndesmosenverletzung lag bei 5,3 mm, die hiermit ermittelte Fläche unterhalb der Kurve (AUC) betrug 0,81 (95%, CI 0,67-0,94) (Abb. 12a).

Die errechnete Sensitivität des TFCS eine Syndesmosenverletzung anzuzeigen lag bei 82%, die Spezifität bei 75%. Es ergab sich ein positiver und negativer prädiktiver Wert von 33% bzw. 46%.

3.2.2 TFO

Der mittlere TFO Wert ergab für Patienten mit einer Syndesmosenverletzung 4.4 mm (\pm 2,1) und für Patienten ohne Syndesmosenverletzung 4.7 mm (\pm 2,3). Hieraus ergab sich kein signifikanter Unterschied des TFO Wertes zwischen den beiden Patientengruppen ($p = 0,7$) (Abb. 10). Die Bland-Altman-Analyse ergab einen Fehler/Bias von 0,8 mm und eine obere und untere Grenze der Übereinstimmung von 2,5 und -2,5 (Abb. 11b). Das Ergebnis der untersucherindividuellen Werte ergab eine moderate Übereinstimmung mit einem Kappa Wert von 0,59. Der aus der ROC-Kurve abgeleitete Grenzwert für TFO zur Erkennung einer Syndesmosenverletzung betrug 1,8 mm. Die Fläche unterhalb der Kurve (AUC) ergab 0,53 (95% CI 0,34-0,71) (Abb. 12b).

Die Sensitivität des TFO zur Detektion einer Syndesmosenverletzung ergab 36%, die Spezifität lag bei 78%. Der positive prädiktive Wert betrug 20% und der negative prädiktive Wert ergab 89%.

3.2.3 MCS

Der mittlere MCS Wert betrug bei Patienten mit Syndesmosenverletzung 3 mm (\pm 0,6), bei Patienten ohne Syndesmosenverletzung wurde ein Wert von 2,6 mm (\pm 0,7) gemessen. Die Ergebnisse unterschieden sich signifikant ($p = 0,04$) (Abb. 10). Die Bland-Altman-Analyse ergab einen Fehler/Bias von 0,05 mm und eine obere und untere Grenze der Übereinstimmung von 1,43 und -1,42 (Abb. 11c). Das Ergebnis der untersucherindividuellen Werte ergab eine moderate Übereinstimmung mit einem Kappa Wert von 0,52.

Der aus der ROC-Kurve abgeleitete Grenzwert für MCS zur Erkennung einer Syndesmosenverletzung betrug 2,8 mm (\pm 1.2) mit einer Fläche unterhalb der Kurve (AUC) von 0,7 (95% CI 0,55-0,85) (Abb. 12c).

Die Sensitivität des MCS zur Detektion einer Syndesmosenverletzung lag bei 73% und die Spezifität bei 59%. Der positive prädiktive Wert betrug 21%, während der negative prädiktive Wert 94% ergaben.

In Fällen, bei denen sowohl der TFCS als auch der MCS einen pathologisch erhöhten Wert aufwiesen, stieg deren gemeinsame Spezifität im Vergleich zu den separaten Werten auf 86%, die gemeinsame Sensitivität lag dann bei 73%.

MRT Aufnahmen des OSG von 2 Patienten mit einer kompletten Ruptur der Syndesmose (Grad 3) mit den korrespondierenden Röntgenbildern und gemessen TFCS- und MCS-Werten sind beispielhaft in Abb. 13 dargestellt.

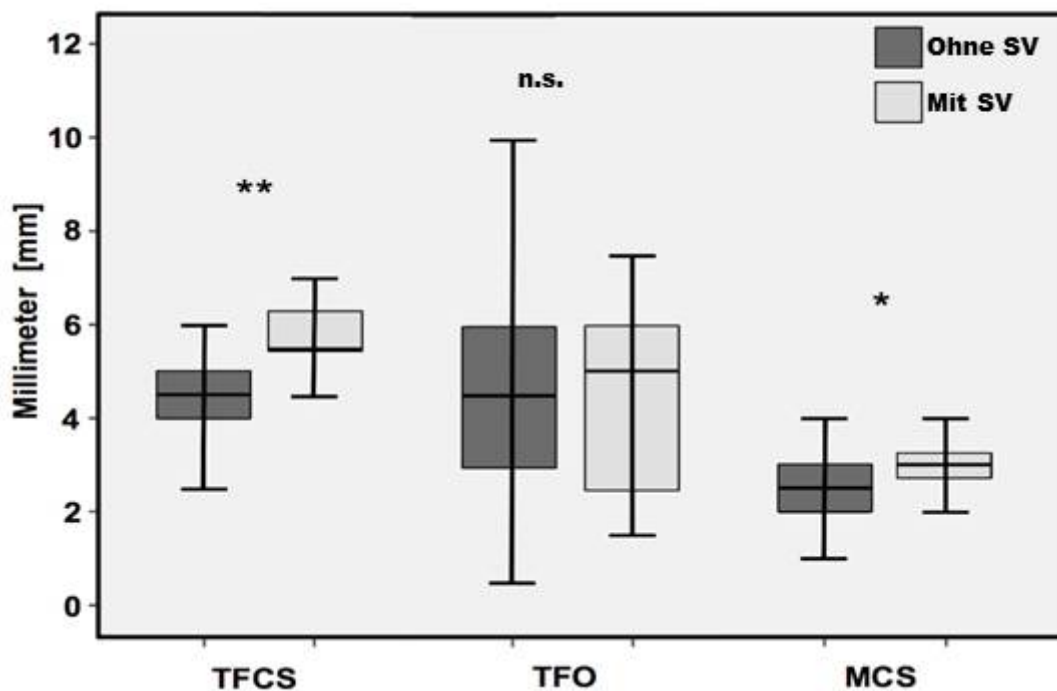


Abb. 10: Vergleich der Messwerte für TFCS (Tibio fibular clear space), TFO (Tibio fibular overlap) und MCS (Medial clear space) im Nativröntgenbild bei Patienten mit Syndesmosenverletzung (SV) und ohne Syndesmosenverletzung.

Signifikant unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Gruppen ergaben sich für die Parameter TFCS ($p = 0.003$) und MCS ($p < 0,04$), nicht aber für den Parameter TFO ($p = 0,7$). n.s.= nicht signifikant; *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$ (Schoennagel et al. 2014)

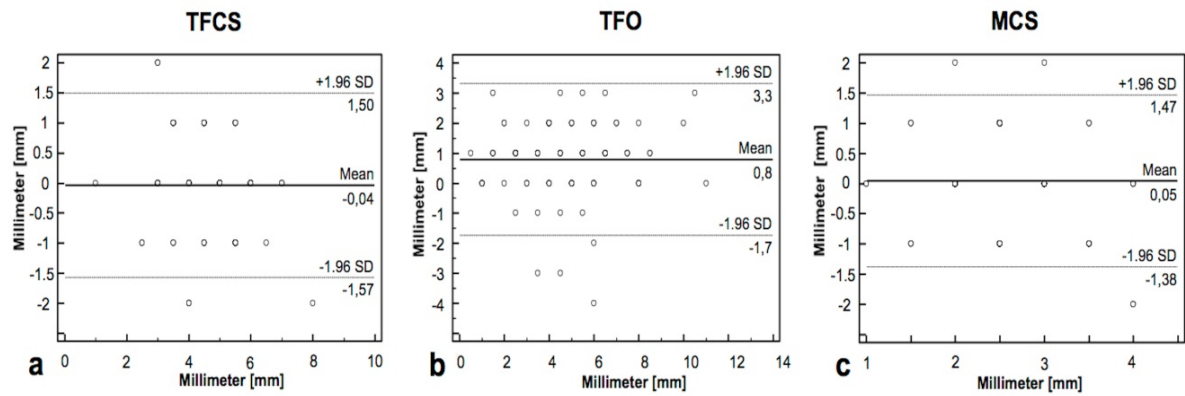


Abb. 11: Bland-Altman-Graphen zur Illustration der Untersuchervariabilität von a) TFCS b) TFO und c) MCS, x-Achse: Mittelwerte in mm, y-Achse: Unterschiede der ausgemessenen Werte von zwei Untersuchern in mm (Schoennagel et al. 2014).

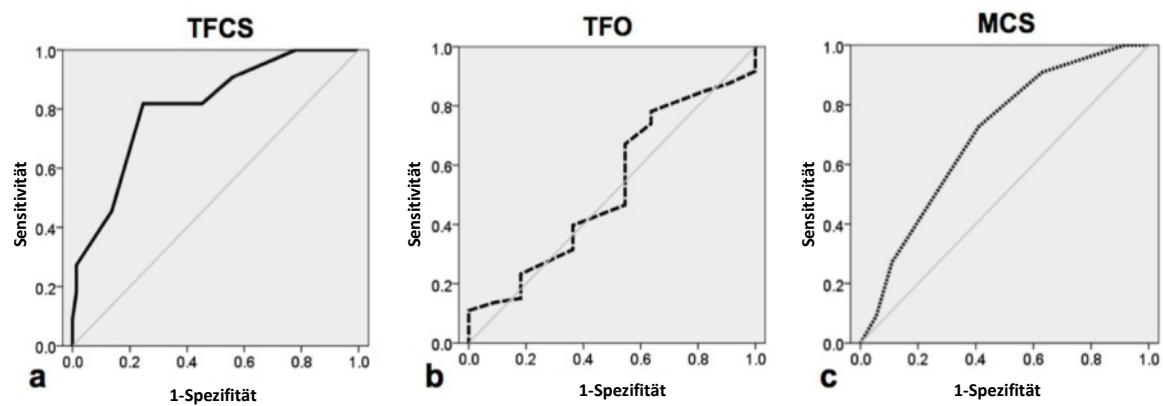


Abb. 12: ROC-Graphen demonstrieren die diagnostische Wertigkeit von a) TFCS (ermittelter Grenzwert 5,3 mm) b) TFO (ermittelter Grenzwert 1,8 mm) und c) MCS (ermittelter Grenzwert 2,8 mm) zur Detektion einer Syndesmosenverletzung.

Die Fläche unterhalb der Kurve (AUC-Wert, area under the curve) ergab für TFCS 0,81 (SE±0,68), für TFO 0,52 (SE±0,94) und für MCS 0,7 (SE±0,76) (Schoennagel et al. 2014).



Abb. 13: TFCS (Tibio fibular clear space) und MCS (Medial clear space): Messungen bei kompletter Ruptur des AITFL (Syndesmosenverletzung, Grad 3)

a) und b): Röntgenaufnahme des OSG im a.p.-Strahlengang (a) eines 26-jährigen männl. Patienten ergeben eine Erweiterung des TFCS (gestrichelte Linie) auf 7 mm und eine grenzwertige Erweiterung des MCS (durchgezogene Linie) auf 3 mm als Hinweis auf eine tibiofibuläre Diastase. Die axiale Schicht einer MRT-Aufnahme (b) (axiale MPR der 3D-VISTA PDW-SPIR Sequenz) zeigen die Diskontinuität des AITFL (Pfeil).

c) und d): Röntgenaufnahme des OSG im a.p.-Strahlengang (c) eines 40-jährigen männlichen Patienten ergeben eine grenzwertige Erweiterung des TFCS (gestrichelte Linie) auf 5,5 mm und eine Erweiterung des MCS (durchgezogene Linie) auf 4 mm als Hinweis auf eine tibiofibuläre Diastase. Die axiale Schicht einer MRT-Aufnahme (d) (axiale MPR der 3D-VISTA PDW-SPIR Sequenz) zeigen die Diskontinuität des AITFL (Pfeil) (Schoennagel et al. 2014).

4 Diskussion

Um die Wertigkeit der Projektionsradiographie für die Diagnose einer isolierten Syndesmosenverletzung zu evaluieren, wurden prospektiv Röntgenaufnahmen des OSG von 84 Patienten nach OSG Trauma ausgewertet. Das Vorliegen und der Grad einer isolierten Syndesmosenverletzung wurden durch eine 3 Tesla-MRT des OSG als Referenzmethode bestimmt. Unter den drei evaluierten röntgenologischen Messparametern waren der TFCS mit einem ermittelten Grenzwert von 5,3 mm (Sensitivität 82%, Spezifität 73%) und der MCS mit einem ermittelten Grenzwert von 2,8 mm (Sensitivität 75%, Spezifität 59%) die verlässlichsten Parameter zur Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung. Der TFO scheint dagegen kein verlässlicher Parameter zur röntgenologischen Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung zu sein (Sensitivität 36%, Spezifität 78%). Unsere Ergebnisse zeigen, dass isolierte Syndesmosenverletzungen mittels der von uns ermittelten neuen Grenzwerte projektionsradiographisch größtenteils erkannt werden können. Allerdings war die Diagnose posttraumatischer osteochondraler Verletzungen häufig nur mittels MRT möglich. Diese Art von Verletzung war deutlich häufiger im Falle von vorliegenden Syndesmosenverletzungen anzutreffen.

In der Literatur gibt es nach unserem Kenntnisstand bisher keine Studien, welche diese diagnostischen Methoden der Projektionsradiographie und des MRT bzgl. einer *isolierten* Syndesmosenverletzung miteinander verglichen haben. Daher existierten bis zuletzt keine spezifischen Referenzwerte für die genannten röntgenologischen Messparameter, um das Vorliegen einer isolierten Syndesmosenverletzung zu bewerten. Die gängigen Referenzwerte für die röntgenologischen Messparameter waren bisher nur im Zusammenhang mit den mit einer Syndesmosenverletzung assoziierten begleitenden Frakturen des distalen Unterschenkels evaluiert worden. Dies ist insofern von Relevanz, als dass im Falle einer distalen Unterschenkelfraktur üblicherweise auch von einer Diastase der Malleolen auszugehen ist, welches direkte Auswirkungen auf die röntgenologischen Messwerte hat. Die Bestimmung von Grenzwerten für die Projektionsradiographie ist essenziell für die korrekte und frühzeitige Diagnose und somit auch für eine adäquate Behandlungsstrategie einer isolierten Syndesmosenverletzung.

Insbesondere ist hier auf den Stellenwert einer frühzeitigen Behandlung einer Syndesmosenverletzung hinzuweisen, weil eine nicht adäquat therapierte isolierte Syndesmosenverletzung oft mit Komplikationen wie chronischen Schmerzzuständen oder Gelenkinstabilität bis hin zu arthrotischen Veränderungen einhergeht (Evans und Schucany 2006). Obwohl eine isolierte Verletzung der unteren tibiofibularen Syndesmose eine niedrigere Prävalenz aufweist als Verletzungen des medialen und lateralen Bandkomplexes, sollten diese aufgrund der klinischen

Relevanz unbedingt in die differentialdiagnostischen Überlegungen nach akutem Sprunggelenkstrauma eingeschlossen werden. Immerhin stellen isolierte Syndesmosenverletzungen nach Literaturangaben einen Anteil von bis zu 13 % der Bandverletzungen am OSG dar (Grass et al. 2000) und sind somit auch in ihrer Quantität äußerst relevant für die routinemäßige Versorgung von Patienten mit oberem Sprunggelenkstrauma. Unsere Studie bestätigt dabei mit einer Prävalenz von 13% (Grad 2 und 3 Verletzungen) die Häufigkeit dieses Krankheitsbildes nach Sprunggelenkstrauma.

Viele Untersuchungen beschäftigten sich mit der optimalen Behandlungsmethode inklusive geeigneter operativer Verfahren zur Therapie von Syndesmosenverletzungen. Auch liegen Arbeiten vor, welche die Diagnose einer Syndesmosenverletzung mittels klinischer Tests, der Bildgebung und auch invasiv mittels Arthroskopie untersucht haben (César et al. 2011; Hermans et al. 2011; Oae et al. 2003). Gemeinsam ist allen Arbeiten, dass es sich bei den Patientenkollektiven jeweils ausschließlich bzw. zum größten Teil um „klassische“ Syndesmosenverletzungen im Rahmen einer begleitenden Fraktur gehandelt hat. Dagegen liegen nur vereinzelte Fallberichte zu isolierten Syndesmosenverletzungen vor, die wiederum die Behandlungsstrategie im Fokus der Betrachtung haben (Valkering et al. 2012). Insbesondere zur Diagnostik isolierter Syndesmosenverletzungen mittels Projektionsradiographie liegen bisher keine konklusiven Ergebnisse vor.

So wird durch den Vergleich unserer Ergebnisse für die radiologischen Messparameter TFCS, MCS und TFO deutlich, dass die Werte in der Diagnostik einer isolierten Syndesmosenverletzung unterschiedliche Wertigkeiten zeigen. Der Parameter mit dem höchsten diagnostischen Potential zur Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung war in dieser Studie der TFCS. In unserer Studie ergaben sich signifikant unterschiedliche Werte des TFCS für Patienten mit und ohne Syndesmosenverletzung. Bei einem in unserer Studie ermittelten TFCS-Grenzwert von 5,3 mm sind die Sensitivität mit 82% und die Spezifität mit 75% bei isolierten Syndesmosenverletzungen am höchsten. In der Literatur variieren die angewandten Grenzwerte von TFCS zwischen 5mm (Blasiak et al. 2013; Takao et al. 2003) und 6 mm (Hermans et al. 2011; Harper 1993). Diese Werte wurden allerdings, wie bereits erwähnt, bei Syndesmosenverletzungen im Rahmen von Frakturen evaluiert. Durch diese ist eine Diastase des OSG-Gelenkspaltes durch die knöcherne Instabilität viel eher zu erwarten, welches sich demzufolge in höheren Grenzwerten widerspiegelt.

Takao et al. berichten für den TFCS-Grenzwert von 6 mm eine Sensitivität von 64% bei einer Spezifität von 100% (Takao et al. 2003). Harper und Pneumaticos et al. unterstreichen ebenfalls ein gutes diagnostisches Potential zur Erkennung von Syndesmosenverletzungen (Harper

1993; Pneumaticos et al. 2003). Hier stellte sich auch der TFCS (Grenzwert: 6 mm) als der aussagekräftigste Parameter heraus (Harper 1993). Dagegen wurde in einer kürzlich erschienen Studie von Hermans et al. keine Korrelation zwischen den TFCS-Werten (Grenzwert: 6 mm) und einer Syndesmosenverletzung beobachtet.

Die von uns neu definierten Grenzwerte gelten dagegen speziell für isolierte Syndesmosenverletzungen und können somit mutmaßlich die Diagnose von isolierten Syndesmosenverletzungen im konventionellen Röntgenbild erleichtern.

Der MCS hatte ebenfalls das Potential eine Syndesmosenverletzung zu erkennen. Auch für diesen Parameter zeigten sich signifikante Unterschiede der ermittelten Werte zwischen Patienten mit und ohne Syndesmosenverletzung. Für den MCS konnte in unserer Studie ein optimaler Grenzwert von 2,8 mm bestimmt werden. Die errechnete Sensitivität von 63% und Spezifität von 59% in unserer Studie zeigen allerdings im Vergleich zum TFCS eine Einschränkung in der klinischen Anwendung. Auch erwies sich dieser bezüglich der Untersucherabhängigkeit in unserer Auswertung als unterlegen im Vergleich zum TFCS. In der Literatur wird der MCS mit einem Grenzwert von 4 mm für eine Syndesmosenverletzung als Parameter mit hohem diagnostischem Potential beschrieben (Hermans et al. 2011; Nielson et al. 2005), allerdings bezieht sich dieser wiederum auf eine Syndesmosenverletzung im Zusammenhang mit einer Fraktur der sprunggelenknahen Abschnitte. Der im Vergleich zu unserer Studie wiederum höhere Grenzwert lässt sich am besten durch die im Rahmen von Frakturen auftretende Gelenkspalt-Diastase erklären.

Der TFO als dritter etablierter Parameter wies in unserem Patientenkollektiv dagegen keinen signifikanten Unterschied zwischen Patienten mit und ohne isolierte Syndesmosenverletzung auf. Es zeigte sich im Gegenteil eine größere Varianz der Messwerte mit einer Sensitivität von lediglich 36% und einer Spezifität von 78%. Daher lässt dieser Parameter keine ausreichend verlässliche Aussage über das Vorliegen einer isolierten Verletzung der Syndesmose zu. Auch wies der TFO Wert in unserer Studie keine zufriedenstellende Untersucherabhängigkeit auf, welches sein Potential in der klinischen Anwendung weiter reduziert. Die in der Literatur angegebenen und sich wiederum auf Syndesmosenverletzungen mit Frakturen beziehenden Grenzwerte variieren zwischen 0 mm (Blasiak et al. 2013; Harper und Keller 1989) und 1 mm (Harper und Keller 1989; Hermans et al. 2011). Dabei herrscht kein Konsens bezüglich der diagnostischen Bedeutung des TFO Wertes bei Syndesmosenverletzungen mit Begleitfrakturen (Beumer et al. 2004; Hermans et al. 2011; Nielson et al. 2005).

Insgesamt lassen unsere Daten den Schluss zu, dass der TFCS und auch der MCS unter Verwendung der neu ermittelten Grenzwerte die Diagnose einer isolierten Syndesmosenverlet-

zung bereits im konventionellen Röntgenbild ermöglichen können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese beiden Parameter zwar eine akzeptable, aber dennoch limitierte Sensitivität (TFCS 82%; MCS 73%) und Spezifität (TFCS 75%; MCS 59%) aufweisen.

Die diagnostische Wertigkeit erhöht sich gering, wenn beide Parameter in Kombination pathologische Werte aufweisen. In diesem Fall erhöht sich deren gemeinsame Spezifität auf 86% bei einer gleichzeitig kombinierten Sensitivität von 73%.

Zudem zeigte die Untersuchung der Untersuchervariabilität die größte Übereinstimmung für den TFCS. Dies unterstreicht im Fall unserer Studie auch, dass der TFCS auch für unerfahrene Untersucher (ein Untersucher, zur Messung der Röntgen-Messparameter, war ohne radiologische Erfahrung, aber mit vorheriger exakter Schulung/Einarbeitung) eine gut zu determinierende Größe darstellt. Neben dieser Limitation des TFO, nicht verlässlich zwischen intakter und verletzter Syndesmose differenzieren zu können, offenbarte sich auch eine größere Untersucherabhängigkeit dieses Parameters. Diesbezüglich schnitt der TFO am schlechtesten von allen drei Parametern ab.

Ein wichtiger, bereits aufgeführter Grund für die unterschiedlichen Grenzwerte der Parameter bei Vorliegen einer isolierten Syndesmosenverletzung und einer Syndesmosenverletzung mit begleitender Fraktur könnte das Vorhandensein einer Gelenkspalt-Diastase im Falle einer Fraktur sein. Bei Auftreten einer isolierten oder kombinierten Tibia-/ Fibula- Fraktur liegt meist eine Diastase der Malleolen vor (Rose et al. 2009; Zamzami und Zamzam 2009). Da sich bei einer Diastase der Abstand zwischen distaler Tibia und Fibula erweitert, ergeben sich bei der Beurteilung der Röntgenbilder pathologische Werte für TFCS, MCS und TFO (Hermans et al. 2011). Da bei den Patienten dieser Studie röntgenologisch definitionsgemäß keine Fraktur und somit eine suffiziente knöcherne Führung der Malleolengabel vorlag, lassen sich die relativ (TFCS) bzw. deutlich (MCS) geringeren Grenzwerte dieser Studie durch den genannten pathophysiologischen Hintergrund erklären. Somit unterscheiden sich unsere neu ermittelten Grenzwerte für die Messparameter einer Syndesmosenverletzung ohne Fraktur nachweis von den in der Literatur genannten Werten. Durch die fehlende Diastase bei isolierten Syndesmosenverletzungen und der damit verbundenen geringeren Streubreite der Messwerte wird die Diskriminierung zwischen normalen und pathologischen Messwerten allerdings erschwert. Aus diesem Grund ist es auch nachvollziehbar, dass eine höhere Sensitivität und Spezifität der Messparameter für die Diagnostik einer isolierten Syndesmosenverletzung nicht zu erwarten sind.

Limitierend für eine Diagnose einer isolierten Syndesmosenverletzung mittels Projektionsradiographie ist, dass die Röntgenaufnahmen sowohl von deren technischer Qualität, als auch von den anatomisch individuellen Begebenheiten der Patienten abhängig ist und dies die Diagnostik mittels Projektionsradiographie oft erschweren kann (Blasiak et al. 2013; Sowman et al. 2012). Hat der Patient Schmerzen bei der Untersuchung, kann er oft nicht in der zur Diagnostik optimalen Aufnahme-Position verbleiben. Wenn das OSG aber in der a.p.-Aufnahme nicht im korrekten Winkel (in 20° Innenrotation) abgebildet wird, ist eine adäquate knöcherne Beurteilbarkeit sowie die Bestimmung der in der Studie evaluierten Messparameter im resultierenden Röntgenbild nicht möglich. Eine gute Qualität und insbesondere Einstellungstechnik der Röntgenaufnahmen ist bekanntermaßen unabdingbare Voraussetzung für eine gute Beurteilbarkeit und Vergleichbarkeit der Messparameter (Molinari et al. 2009). Qualitätsmerkmale sind neben der richtigen Belichtung, welche heute meist durch eine Belichtungsautomatik sichergestellt ist, der überlagerungsfrei einsehbare Gelenkspalt des OSG. Nur in exakt eingestellten Aufnahmen ist die korrekte Bestimmung der Parameter im Millimeterbereich gewährleistet. Aufgrund der genannten aufnahmetechnischen Schwierigkeit können die Parameter TFCS und MCS also in einigen Fällen nur ungenau bestimmt werden, was sich wiederum in einer erniedrigten Sensitivität und Spezifität auswirken kann.

Röntgenologische Stressaufnahmen des OSG zeigten nach Literaturangaben eine hohe Sensitivität für die Beurteilung einer Instabilität des Sprunggelenks (Edwards und DeLee 1984). Im Gegensatz dazu wurde über eine nur geringe Spezifität der Stressaufnahmen hinsichtlich der Diagnose einer Syndesmosenverletzung berichtet (Ogilvie-Harris und Reed 1994) und die Genauigkeit der Stressaufnahmen hinsichtlich der Bewertung der Syndesmosenregion angezweifelt (Muratli et al. 2004). Zudem hatte das Ergebnis präoperativer Stressaufnahmen zur Bewertung einer Instabilität keine Auswirkung auf das klinische und radiologische Outcome nach operativem Eingriff (Jeong et al. 2015). Insgesamt wird die Wertigkeit von Stressaufnahmen kontrovers diskutiert (Best et al. 2013; Langner et al. 2010). Die Genauigkeit der Stressaufnahme kann vor allem in der Akutsituation von der angewandten Röntgentechnik, der Kraft, welche bei der Untersuchung auf das Gelenk wirkt und der Patientenmitarbeit beeinflusst sein. Letztere wiederum wird durch Schmerzen während der Untersuchung, Muskelspasmen oder durch Ödeme beeinflusst (Langner et al. 2010). Stressaufnahmen kommen deshalb aufgrund der unzureichenden Datenlage bezüglich der diagnostischen Evidenz auch in unserem Institut nicht zur Anwendung.

Deutlich wird nach Auswertung der MRT Aufnahmen in unserer Studie, dass das AITFL viel häufiger betroffen ist, als das PITFL. Bei allen 11 Patienten mit Syndesmosenverletzung entstanden 7 Teilrupturen und 4 Komplettrupturen des AITFL, während das PITFL nur bei einem Patienten teiltrupturiert war. Dabei handelt es sich um keine zufällige Beobachtung, da das PITFL ein deutlich stärkeres Band als das AITFL ist, Rotationskräften besser stand hält (Ebraheim et al. 2006) und dementsprechend seltener rupturiert (Blasiak et al. 2013; Oae et al. 2003; Ogilvie-Harris et al. 1994). Zudem wurde berichtet, dass im Falle einer Verletzung des PITFL immer auch eine Läsion des AITFL vorliegt (Hermans et al. 2011; Takao et al. 2003). Dies zeigt auch das Ergebnis unserer Studie: der Patient mit Teilruptur des PITFL hatte gleichzeitig eine Komplettruptur des AITFL. Harper und Keller argumentieren dagegen, dass der TFCS vor allem ein Parameter für die Diagnose einer Verletzung des PITFL ist (Harper und Keller 1989; Harper 1993). Dies verdeutlicht die schwierige Interpretation der Lokalisation einer Syndesmosenverletzung mittels Röntgenaufnahmen, so dass zur Klärung dieser Frage eine MRT notwendig ist.

Als Konsequenz der in dieser Studie erzielten Ergebnisse liegt nahe, dass bei pathologisch erhöhten Werten von TFCS und/oder MCS, und im Zweifelsfalle auch bei grenzwertigen Messbefunden eine ergänzende MRT Diagnostik zur Verifikation bzw. zum Ausschluss einer Syndesmosenverletzung durchgeführt werden sollte. Gerade in Fällen von grenzwertig pathologischen Messwerten in der Röntgenaufnahme sollte unbedingt eine Korrelation mit der klinischen Symptomatik erfolgen, um die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer isolierten Syndesmosenverletzung näher einzugrenzen, und dem Patienten so ggf. eine zeit- und kostenintensive und evtl. unnötige weitere MRT-Bildgebung zu ersparen.

Bekanntermaßen sind MRT-Aufnahmen durch den hohen Weichteilkontrast das am besten geeignete nicht-invasive Verfahren, um Bandläsionen zu diagnostizieren, zu lokalisieren (Evans und Schucany 2006; Hermans et al. 2011; Perrich et al. 2009) und deren Ausmaß näher bestimmen zu können. Oae et al. und Takao et al. berichten, dass die MRT mit einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 93% Rupturen der Syndesmosenbänder diagnostizieren kann (Oae et al. 2003; Takao et al. 2003). Oae et al. nutzten in ihrer Studie die Arthroskopie als Referenzstandard, um die Sensitivität und Spezifität der MRT zu evaluieren (Oae et al. 2003). Außerdem wurde beschrieben, dass eine Röntgenaufnahme im Vergleich mit der MRT eine Sensitivität von nur 58,3% bei einer Spezifität von 100% hat (Takao et al. 2003). Wie in der genannten Studie von Oae et al. dargestellt, ist die Arthroskopie der diagnostische Goldstandard und ermöglicht eine dezidierte Diagnose hinsichtlich einer Verletzung und deren Ausmaß der Syndesmosen. Ein weiterer Vorteil ist, dass im Falle einer vorliegenden Läsion

on in gleicher Sitzung eine gezielte Interventionsmöglichkeit zur Therapie gegeben ist. Allerdings ist die Arthroskopie ein invasives Verfahren und birgt somit alle Eingriff-assoziierten Komplikationen als Risiko (Zamzami und Zamzam 2009). Technisch wird durch zwei Zugänge, anterolateral und anteromedial, eine gute Beurteilung des Gelenkes und die Bewertung einer Läsion der Syndesmosenbänder ermöglicht (Oae et al. 2003). Da die Arthroskopie eine invasive Methode darstellt, soll diese im Rahmen der Ergebnisinterpretation nur am Rande erwähnt werden.

Es gibt bisher keine etablierte oder einheitlich angewandte Klassifikation in der MRT Diagnostik, welche eine Syndesmosenverletzung einteilt oder näher definiert. Jedoch existieren in Anlehnung an unsere gewählte 4-Punkte Skala Vorschläge zur Einteilung von Bandverletzungen und im Speziellen auch von Syndesmosenverletzungen (Chandnani et al. 1994; Hermans et al. 2011; Langner et al. 2010). Valkering et al. erstellen zum Beispiel eine Einteilung der Syndesmosenverletzung mit den Graden I-III ausgehend von Röntgenaufnahmen und dem Hinzuziehen von klinischen Funktionstests, wie zum Beispiel dem sog. Squeezetest, einer Kompression von Tibia und Fibula von proximal nach distal fortlaufend. Darüber hinaus können Kollateralbandverletzungen nach Langner et al. mittels T2-gewichteten MRT-Aufnahmen in drei Stadien gegliedert werden, welche patho-anatomisch unserer Klassifikation gleichen (Langner et al. 2010):

1. Dehnung/interstitieller Riss mit erhöhter Signalintensität,
2. Partialruptur und
3. Komplettruptur.

Wir empfehlen die generelle Anwendung dieser sich an MR-bildmorphologischen Kriterien orientierenden und auch von uns angewandten, standardisierten Stadieneinteilung einer isolierten Syndesmosenruptur. Hierbei entspricht Grad 0 einer intakten, unverletzten Syndesmo- se. Bei Grad 1 liegt ein peri- (1a) oder intraligamentäres (1b) Ödem vor, während bei Grad 2 eine Teilruptur der Syndesmo- se vorliegt. Grad 3 bezeichnet eine Komplettruptur des AITFL oder PITFL. Eine standardisierte und allgemein angewandte Klassifikation wäre sinnvoll, um eine Objektivierung und Reproduzierbarkeit der bildmorphologischen Befunde zu gewährleisten. Ebenso könnte die Graduierung Grundlage für weitere Studien bieten, die das bildmorphologische Erscheinungsbild einer Syndesmosenverletzung mit dem klinischen Verlauf bzw. postoperativen Outcome korrelieren. Ziel könnte sein, anhand der so generierten Daten eine

möglichst standardisierte Therapierichtlinie für eine Syndesmosenverletzung aufzubauen, welche bisher nicht existiert.

Aktuell ist die Therapie einer Syndesmosenverletzung in der Praxis abhängig von ihrem klinischen Schweregrad. Empfohlen wird meist eine konservativ-funktionelle Therapie, welche 6-8 Wochen dauert (Grass et al. 2000). Williams und Allen weisen in ihrer Studie daraufhin, dass Patienten mit verlängertem Heilungsprozess und chronischen Schmerzen möglicherweise auch von einer chirurgischen Intervention profitieren könnten (Williams und Allen 2010). Als interventionelle therapeutische Verfahren existieren mehrere Optionen in der Literatur, auf die im Rahmen dieser bildmorphologischen Untersuchung nur kurz und der Vollständigkeit halber eingegangen werden soll. Die operative Einbringung einer Stellschraube zwischen Tibia und Fibula zur Stabilisierung wird erst bei kompletter Ruptur der Syndesmose und begleitender Malleolarfraktur vorgeschlagen, die Stellschraube verbleibt dort für eine Dauer von ca. 6 Wochen, in denen der Patient den Fuß nicht belasten darf (Evans und Schucany 2006). Alternativ können ein syndesmalen Haken oder Kirschner Drähte (Dittmer und Dettmann 1999) eingebracht werden. Grass et al. beschreiben die Rekonstruktion der syndesmalen Bänder mittels Dacronband und einer von Castaing beschriebenen Plastik mit autologem Peroneus-brevis Span im Falle einer höhergradigen bzw. klinisch instabilen Syndesmosenverletzung mit Fraktur (Grass et al. 2000). Im Falle einer isolierten Syndesmosenverletzung erscheint es sinnvoll die konservative oder chirurgische Therapie - zur Entscheidung sollte immer die sportliche Aktivität mit berücksichtigt werden (z.B. Leistungssportler) - an den Heilungsverlauf anzupassen und durch frequentierte Verlaufsuntersuchungen zu kontrollieren (Evans und Schucany 2006).

Ein weiteres Ziel dieser Studie war die Analyse des Auftretens von begleitenden ossären oder auch osteochondralen Verletzungen des OSG im Falle einer Syndesmosenverletzung. Es hat sich in unserem Patientenkollektiv gezeigt, dass Patienten mit Syndesmosenverletzung ein ca. 5-fach erhöhtes Risiko für begleitende osteochondrale Verletzungen und röntgenologisch okkulte Frakturen/Avulsionsfrakturen haben. Als Avulsionsfrakturen oder Ausrissfrakturen werden Knochenfragmente bezeichnet, welche durch eine Band- oder Sehnenverletzung aus dem Knochen herausgerissen wurden. Am Röntgenbild sind diese Frakturen schwierig zu diagnostizieren, da sie meist sehr klein sind (Novelline 2001). Sämtliche dieser Verletzungen konnten nur mittels MRT diagnostiziert und auch retrospektiv nicht anhand der Projektionsradiographie erkannt werden. Unsere Befunde sind übereinstimmend mit anderen Studien, in denen eine Syndesmosenverletzung häufig mit anderen Gelenksverletzungen assoziiert ist und

letztere sehr häufig nur mittels MRT erkannt werden können (Williams und Allen 2010). Häufig auftretende Begleitverletzungen sind u.a. Rupturen des Lig. talofibulare anterius, ein posttraumatisches Knochenmarksödem im Sinne eines sog. bone bruise und osteochondrale Verletzungen. Zudem wurde bei Patienten mit über 6 Monaten persistierenden Beschwerden häufig auch osteochondrale Läsionen wie z.B. eine Osteochondrosis dissecans diagnostiziert (Langner et al. 2010). Diese häufigen Begleitverletzungen weisen darauf hin, dass bei Vorliegen einer Syndesmosenverletzung ein schweres Trauma des OSG stattgefunden haben muss.

Schlussfolgernd hat diese Studie gezeigt, dass die Projektionsradiographie unter Berücksichtigung der in dieser Studie ermittelten Grenzwerte für die Messparameter TFCS (5,3 mm) und MCS (2,8 mm) ein hilfreiches Verfahren zur Beurteilung einer isolierten Syndesmosenverletzung sein kann. Im Falle pathologisch erhöhter Messwerte von TFCS und MCS sowie bei grenzwertigen Messergebnissen sollte nach Korrelation mit der klinischen Symptomatik eine ergänzende Diagnostik mittels MRT Untersuchung erfolgen um eine Syndesmosenverletzung zu verifizieren bzw. auszuschliessen und damit eine adäquate Therapie- und Rehabilitationsstrategie in die Wege zu leiten. Ein zusätzlicher Mehrwert der MRT Untersuchung besteht zudem in der Detektion von ossären und osteochondralen Begleitverletzungen, die wie unsere Ergebnisse zeigen mit deutlich höherer Inzidenz im Rahmen von isolierten Syndesmosenverletzungen auftreten und anhand einer Röntgenaufnahme nicht verlässlich zu diagnostizieren sind.

5 Zusammenfassungen

5.1 Deutsch

Die untere tibiofibuläre Syndesmose ist ein integraler Bestandteil des OSG. Durch die ligamentäre Verbindung von distaler Tibia und Fibula wird ein Auseinanderweichen der Malleolengabel bei axialem Druck verhindert, was wesentlich zur Stabilisierung des OSG beiträgt. Mittels der üblichen Diagnostik nach Sprunggelenktrauma, bestehend aus klinischer Untersuchung und Röntgenaufnahmen, wird eine Syndesmosenverletzung bei Patienten ohne Frakturachweis im Röntgenbild häufig nicht diagnostiziert. Nicht oder zu spät diagnostizierte, isolierte Verletzungen der Syndesmose nach Sprunggelenktrauma resultieren aber häufig in chronischen Schmerzzuständen, Gelenkinstabilität und Gelenkdegeneration und stellen damit eine große Einschränkung des Leistungsvermögens und der Lebensqualität dar. Die diagnostische Wertigkeit etablierter röntgenologischer Messparameter, wie dem TFCS, MCS und TFO wurden bisher nicht bei Patienten mit isolierter Syndesmosenverletzung - also ohne Vorliegen einer Fraktur - bestimmt.

Das Ziel dieser Studie war es, die Wertigkeit der Röntgenaufnahme des OSG in der Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung im Vergleich mit der 3 Tesla MRT zu evaluieren und geeignete Grenzwerte für die röntgenologischen Messparameter TFCS, MCS und TFO zu bestimmen. Es wurden bei 84 prospektiven Patienten Röntgen- und MRT-Aufnahmen des OSG innerhalb von 24 Stunden nach Sprunggelenktrauma angefertigt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die isolierte Syndesmosenverletzung (Partial- oder Komplettruptur) mit 13% ein relativ häufiger Befund nach OSG-Trauma ist. Mit den in dieser Studie bestimmten Grenzwerten kann die Projektionsradiographie die Diagnose einer isolierten Syndesmosenverletzung erleichtern. Als verlässlichste Parameter zur Detektion einer isolierten Syndesmosenverletzung stellten sich der TFCS (Grenzwert: 5,3 mm; Sensitivität: 82% und Spezifität: 73%) und - in geringerem Maße - auch der MCS (Grenzwert: 2,8 mm; Sensitivität: 75% und Spezifität: 59%) heraus. Eine höhere Spezifität von 86% ergab sich, wenn sowohl Messwerte des TFCS als auch des MCS pathologisch erhöht waren. Der TFO dagegen wies keine ausreichende Verlässlichkeit auf eine Syndesmosenverletzung anzuzeigen.

Um den Schweregrad einer Syndesmosenverletzung zu bestimmen, erscheint eine MRT-morphologische Einteilung in vier Grade sinnvoll:

0. unauffällige Syndesmose
1. peri- (1a) oder intra- (1b) ligamentäres Ödem

2. Partialruptur

3. Komplettruptur.

Diese standardisierte Einteilung könnte möglicherweise auch zur Festlegung einer auf den Schweregrad der Verletzung angepassten Therapiestrategie beitragen.

Die Studie zeigte zusätzlich, dass osteochondrale Verletzungen nach OSG-Trauma eine 5-fach erhöhte Inzidenz im Falle einer isolierten Syndesmosenverletzung aufweisen und nur mittels MRT diagnostiziert werden können.

Die Schlussfolgerung dieser Arbeit ist, dass im Falle erhöhter oder grenzwertiger Messwerte für TFCS und MCS in der posttraumatischen Röntgenaufnahme des OSG - und unter Berücksichtigung der klinischen Symptomatik - eine ergänzende MRT erfolgen sollte, um den Verdacht einer isolierten Syndesmosenverletzung zu verifizieren bzw. diese sicher auszuschließen. Mit diesem diagnostischen Prozedere könnten die Anzahl verspäteter oder nicht gestellter Diagnosen einer isolierten Syndesmosenverletzung reduziert und somit Folgekomplikationen vermieden und die im Falle einer Syndesmosenverletzung häufigen Begleitverletzungen verlässlich detektiert werden.

Die Ergebnisse dieser Studie könnten die korrekte und frühzeitige Diagnose isolierter Syndesmosenverletzungen erleichtern und so zu einem verbesserten Outcome der betroffenen Patienten beitragen.

5.2 Englisch

The tibiofibular syndesmosis is a substantial part of the upper ankle joint. It embodies the ligamentous conjunction between the distal tibia and fibula and prevents them from disintegrating when axial pressure is applied.

In cases where there is no evidence of a fracture, the syndesmotic injury (SI) can often not be correctly identified using the usual diagnostic examinations after ankle trauma, such as the clinical examination and the plain film radiography. When injuries of the syndesmosis are diagnosed too late or not at all there is a major risk for the development of chronic pain, ankle instability or degeneration of the ankle. This can lead to a loss of physical capacity and even life quality. The diagnostic value of the radiological parameter, such as the TFCS, MCS and TFO, has not yet been examined in patients with an isolated injury of the syndesmosis, meaning without the evidence of a fracture.

The aim of this study was to evaluate the value of plain film radiography in comparison with 3T MRI in detecting an isolated injury of the syndesmosis and to determine the cut-off values for TFCS, MCS and TFO.

Eighty-four patients underwent the examination of plain film radiography and MRI of the ankle in the first 24 hours after an ankle trauma. Our results reveal that with an incidence of 13% the injury of the syndesmosis (partial or complete rupture) is a relative frequent finding after ankle trauma. Furthermore, with the newly defined cut-off values in this study, a radiograph can help identify the SI. The most reliable parameter for the detection of an isolated SI was the TFCS (cut-off: 5,3mm; sensitivity: 82%; specificity: 73%) and, to a lesser extent, the MCS (cut-off: 2,8mm; sensitivity: 75%; specificity 59%). A more significant specificity of 86% was found when cut-off values of the TFCS and the MCS were elevated pathologically at the same time. The TFO did not show the reliability to diagnose an SI.

To determine the degree of severity of an SI, an MRI morphological four-scale-grading system seems reasonable: 0. normal syndesmosis, 1. Peri- (1a) or intra- (1b) ligamental edema, 2. partialrupture, 3. complete rupture.

This scale could potentially help to develop a newly adapted strategy for the therapy of SIs.

Additionally the study revealed that osteochondral injuries after ankle trauma in the case of an isolated SI are five times more frequent than in cases without an isolated SI and can only be diagnosed by MRI.

In summary, we suggest that in cases showing elevated measurements of the TFCS and MCS in plain film radiography of the upper ankle, and in considering the clinical symptoms, an

MRI examination should follow to confirm the SI or to exclude it. With this diagnostic approach the number of SIs that are diagnosed too late or misdiagnosed entirely could be reduced, the likelihood of complications could decrease and frequent ancillary injuries could be detected reliable. The results of this study enable us to diagnose an isolated SI early and correctly, which could lead to a better outcome for the affected patients.

Literaturverzeichnis

- Alonso, Albert; Khoury, Lynette; Adams, Roger (1998): Clinical Tests for Ankle Syndesmosis Injury: Reliability and prediction of Return to Function. In: *Journal of Orthopaedic & Sports Therapy* 27(4), S. 276–284.
- Benninghoff; Drenckhahn, D. (Hg.) (2003): Anatomie. München, Jena: Urban & Fischer Verlag (Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie).
- Best, R.; Mauch, F.; Bauer, G. (2013): Evidence for treatment of acute syndesmosis injuries in sports. In: *Der Unfallchirurg* 116 (6), S. 504–511.
- Beumer, A.; van Hemert, W L W; Niesing, R.; Entius, C. A. C.; Ginai, A. Z.; Mulder, P. G. H.; Swierstra, B. A. (2004): Radiographic Measurement of the Distal Tibiofibular Syndesmosis Has Limited Use. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 423, S. 227–234.
- Beumer, A.; van Hemert, W L W; Swierstra, B. A.; Jasper, L. E.; Belkoff, S. M. (2003): A biomechanical evaluation of the tibiofibular and tibiotalar ligaments of the ankle. In: *Foot & Ankle International* 24(5), S. 426–429.
- Blasiak, Adrian; Sadlik, Boguslaw; Bróska, Roman (2013): Injuries of the distal tibio-fibular syndesmosis. In: *Polish Orthopedics and Traumatology* 78, S. 139–150.
- Brosky, Tony; Nyland, John; Nitz, Art; Caborn, David N. M. (1995): The Ankle Ligaments: Consideration of syndesmotic injury and implications for rehabilitation. In: *Journal of Orthopaedic & Sports Therapy* 21(4), S. 197–205.
- Bücheler, Egon; Lackner, Klaus-Jürgen; Thelen, Manfred (2006): Einführung in die Radiologie: Georg Thieme Verlag (Diagnostik und Interventionen).
- César, P. C. de; Avila, E. M.; Abreu, M. R. de (2011): Comparison of magnetic resonance imaging to physical examination for syndesmotic injury after lateral ankle sprain. In: *Foot & Ankle International* 32(12), S. 1110–1114.
- Chandnani, V. P.; Harper, M. T.; Ficke, J. R. (1994): Chronic ankle instability: evaluation with MR arthrography, MR imaging and stress radiography. In: *Radiology* 9(5), S. 189–194.
- Dittmer, H.; Dettmann, E. (1999): Treatment of the rupture of the distal tibiofibular syndesmosis with "Engelbrecht's syndesmosis hook". In: *Der Unfallchirurg* 102(10), S. 770–775.

- Drake R.L.; Vogl, W.; Mitchell, A.W.M. (2007): Gray's Anatomie für Studenten. In: *Elsevier Verlag, München*, S. 568–586.
- Ebraheim, Nabil A.; Taser, Figen; Shafiq, Qaiser; Yeasting, Richard A. (2006): Anatomical evaluation and clinical importance of the tibiofibular syndesmosis ligaments. In: *Surgical and Radiologic Anatomy* 28 (2), S. 142–149.
- Edwards, G. S.; DeLee, J. C. (1984): Ankle diastasis without fracture. In: *Foot & Ankle International* 4(6), S. 305–312.
- Evans, J. Mark; Schucany, William G. (2006): Radiological evaluation of a high ankle sprain. In: *Radiology Report* 19, S. 402–405.
- Fallat, Lawrence; Grimm, Douglas J.; Saracco, Joseph A. (2009): Sprained Ankle Syndrome: Prevalence and Analysis of 639 Acute Injuries. In: *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 37 (4), S. 280–285.
- Gerber, J. P.; Williams, G. N.; Scoville, C. R.; Arciero, R. A.; Taylor, D. C. (1998): Persistent disability associates with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population. In: *Foot & Ankle International* 19(10), S. 653–660.
- Grass, R.; Herzmann, K.; Biewener, A.; Zwipp, H. (2000): Verletzungen der unteren tibiofibularen Syndesmose. In: *Der Unfallchirurg* 103, S. 520–532.
- Großterlinden, Lars Gerhard; Hartel, Maximilian; Yamamura, Jin; Schoennagel, Bjoern; Bürger, Nils; Krause, Mathias et al. (2015): Isolated syndesmotic injuries in acute ankle sprains: diagnostic significance of clinical examination and MRI. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, S. 1–7.
- Harper, M. C. (1993): An anatomic and radiographic investigation of the tibiofibular clear space. In: *Foot & Ankle International* 14(8), S. 1993.
- Harper, M. C.; Keller, T. S. (1989): A radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. In: *Foot & Ankle International* 10(3), S. 156–160.
- Henkemeyer, H.; Püschel, R.; Burri, C. (1975): Experimental studies on the biomechanics of syndesmosis. In: *Langenbecks Archiv für Chirurgie*, S. 369–371.
- Hermans, J. J.; Wentink, N.; Beumer, A.; Hop, W. C. J.; Heijboer, M. P.; Moonen, A F C M; Ginai, A. Z. (2011): Correlation between radiological assessment of acute ankle fractures and syndesmotic injury on MRI. In: *Skeletal Radiology* 41 (7), S. 787–801.

- Hermans, John J.; Beumer, Annechien; De Jong, Ton A W; Kleinrensink, Gert-Jan (2010a): Anatomy of the distal tibiofibular syndesmosis in adults: a pictorial essay with a multimodality approach. In: *Journal of Anatomy* 217 (6), S. 633–645.
- Hermans, John J.; Ginai, Abida Z.; Wentink, Noortje; Hop, Wim C. J.; Beumer, Annechien (2010b): The additional value of an oblique image plane for MRI of the anterior and posterior distal tibiofibular syndesmosis. In: *Skeletal Radiology* 40 (1), S. 75–83.
- Jeong, B. O.; Kim, T. Y.; Song, W. J. (2015): Effect of preoperative stress radiographic findings on radiographic and clinical outcomes of the modified Broström procedure for chronic ankle instability. In: *J Foot Ankle Surg* (55(1)), S. 125–128.
- Langner, Inga; Frank, Matthias; Kuehn, Jens Peter; Hinz, Peter; Ekkernkamp, Axel; Hosten, Norbert; Langner, Soenke (2010): Acute inversion injury of the ankle without radiological abnormalities: assessment with high-field MR imaging and correlation of findings with clinical outcome. In: *Skeletal Radiology* 40 (4), S. 423–430.
- Lynch, Scott A. (2014): Assessment of the Injured Ankle in the Athlete. In: *Journal of Athletic Training* 37(4), S. 1–7.
- Molinari, A.; Stolley, M.; Amendola, A. (2009): High ankle sprains (syndesmotic) in athletes: Diagnostic challenges and review of the literature. In: *The Iowa Orthopaedic Journal* 29, S. 130–138.
- Muhle, Claus; Frank, Lawrence R.; Rand, Thomas; Ahn, Joong Mo; Yeh, Lee-Ren; Haghghi, Parviz; Resnick, Donald (1998): Tibiofibular Syndesmosis: High-Resolution MRI Using a Local Gradient Coil.
- Muratli, H. H.; Biçimoğlu, A.; Celebi, L.; Boyacigil, S.; Damgaci, L.; Tabak, A. Y. (2004): Magnetic resonance arthrographic evaluation of syndesmotic diastasis in ankle fractures. In: *Arch Orthop Trauma Surg* (125(4)), S. 222–227.
- Ney, R.; Jend, J. J.; Schöntag, H. (1987): Tibiofibular mobility and arthrosis in patients with postoperative ossification in the area of syndesmosis of the upper ankle. In: *Unfallchirurgie* 13(5), S. 274–277.
- Nielson, J. H.; Gardner, M. J.; Peterson, M. G. (2005): Radiographic measurements do not predict syndesmotic injury in ankle fractures: an MRI study. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 436, S. 216–221.

- Niethard, Fritz U.; Pfeil, Joachim; Biberthaler, Peter (2009): Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (Duale Reihe).
- Novelline, R. A. (2001): Squire's Radiologie. Stuttgart, New York: Schattauer Verlag (Grundlagen der klinischen Diagnostik).
- Oae, K.; Takao, M.; Naito, K.; Uchio, Y.; Kono, T.; Ishida, J.; Ochi, M. (2003): Injury of the Tibiofibular Syndesmosis: Value of MR Imaging for Diagnosis. In: *Radiology* 227 (1), S. 155–161.
- Ogilvie-Harris, D. J.; Reed, S. C. (1994): Disruption of the ankle syndesmosis: diagnosis and treatment by arthroscopic surgery. In: *Arthroscopy* (10(5)), S. 561–568.
- Ogilvie-Harris, D. J.; Reed, S. C.; Hedman, T. P. (1994): Disruption of the ankle syndesmosis: biomechanical study of the ligamentous restraints. In: *Arthroscopy* 10(5), S. 558–560.
- Perrich, Kiley D.; Goodwin, Douglas W.; Hecht, Paul J.; Cheung, Yvonne (2009): Ankle Ligaments on MRI: Appearance of Normal and Injured Ligaments. In: *American Journal of Roentgenology* 193 (3), S. 687–695.
- Pneumaticos, S. G.; Noble, P. C.; Chatziioannou, S. N.; Trevino, S. G. (2003): The effects of rotation on radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. In: *Foot & Ankle International* 23(2), S. 107–111.
- Ramsey, P. L.; Hamilton, W. (1976): Changes in tibiotalar area of contact by lateral talar shift. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery* 58(3), S. 356–357.
- Reiser, Maximilian; Kuhn, Fritz-Peter; Debus, Jürgen (2011): Radiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (Duale Reihe).
- Riegels-Nielsen, P.; Christensen, J.; Greiff, J. (1983): The stability of the tibio-fibular syndesmosis following rigid internal fixation for type C malleolar fractures: an experimental and clinical study. In: *Injury* 14(4), S. 357–360.
- Rose, Jonathan D.; Flanigan, K. Paul; Mlodzienski, Alan (2009): Tibiofibular Diastasis without Ankle Fracture: A Review and Report of Two Cases. In: *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 41 (1), S. 44–51.
- Rössler, H.; Rüter, W. (2007): Orthopädie und Unfallchirurgie. München: Urban & Fischer Verlag.
- Ruchholtz, Steffen; Wirtz, Dieter Christian (Hg.) (2013): Orthopädie und Unfallchirurgie: Georg Thieme Verlag (Intensivkurs zur Weiterbildung).

- Rummeny, Ernst J.; Reimer, Peter; Heindel, Walter (2006): Ganzkörper-MR-Tomographie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Sauer, H. D.; Jungfer, E.; Jungbluth, K. H. (1978): Experimental studies on tensile strength of the ligamental apparatus of the human ankle joint. In: *Hefte zur Unfallheilkunde* 131, S. 37–42.
- Schoennagel, B. P.; M Karul; M Avanesov; P Bannas; G Gold; Großterlinden, L. G. et al. (2014): Isolated syndesmotic injury in acute ankle Trauma: comparison of plain film radiography with 3T MRI. In: *EUR J RADIOL* 83 (10), S. 1856–1861. DOI: 10.1016/j.ejrad.2014.06.034.
- Sman, A. D.; Hiller, C. E.; Refshauge, K. M. (2013): Diagnostic accuracy of clinical tests for diagnosis of ankle syndesmosis injury: a systematic review. In: *British Journal of Sports Medicine* 47 (10), S. 620–628.
- Sowman, B.; Radic, R.; Kuster, M.; Yates, P.; Breidiel, B.; Karamfilef, S. (2012): Distal tibiofibular radiological overlap: Does it always exist? In: *Bone and Joint Research* 1 (2), S. 20–24.
- Takao, M.; Ochi, M.; Oae, K.; Naito, K.; Uchio, Y. (2003): Diagnosis of a tear of the tibiofibular syndesmosis. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery* 85 (3), S. 324–329.
- Valkering, Kars P.; Vergroesen, Diederik A.; Nolte, Peter A. (2012): Isolated Syndesmosis Ankle Injury. In: *Orthopedics* 35 (12), S. e1705-e1710.
- Waldt, Simone; Eiber, Matthias; Wörtler, Klaus (2011): Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Williams, G. N.; Allen, E. J. (2010): Rehabilitation of Syndesmotic (High) Ankle Sprains. In: *Sports Health: A Multidisciplinary Approach* 2 (6), S. 460–470.
- Wilson, M. J.; Michele, A. A.; Jacobson, E. W. (1939): Ankle dislocations without fracture. In: *Journal of Bone and Joint surgery* (21(1)), S. 198–204.
- Xenos, JS.; Hopkinson, WJ.; Mulligan, ME.; Olson, EJ.; Popovis, NA. (1995): The tibiofibular syndesmosis. Evaluation of the ligamentous structures, methods of fixation and radiographic assessment. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery* (77(6)), S. 847–856.
- Zamzami, Marwan M.; Zamzam, Mohamed M. (2009): Chronic isolated distal tibiofibular syndesmotic disruption: Diagnosis and management. In: *Foot and Ankle Surgery* 15 (1), S. 14–19.

Zwipp, Hans (1994): Chirurgie des Fußes. Wien, New York: Springer Verlag.
Literaturverzeichnis

Danksagung

Hiermit möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Gerhard Adam für die Möglichkeit danken, an dem Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf meine Doktorarbeit durchzuführen.

Herrn PD Dr. Jin Yamamura danke ich für die hypothetische Ausarbeitung des Themas der Doktorarbeit und für seine stetige wissenschaftliche Beratung und Anregung während der Arbeit an dieser Dissertation.

Meinen Betreuern Herrn Dr. Björn Schönagel und Herrn Dr. Murat Karul danke ich für die beispielhafte Unterstützung und Förderung und eine sehr gute und zielführende Zusammenarbeit, welche das Fertigstellen dieser Doktorarbeit erst ermöglicht hat.

Darüberhinaus danke ich den Patienten für die Teilnahme an dieser Studie.

Zudem möchte ich meiner Familie und meinem Freund sehr danken, die mich immer tatkräftig unterstützt, aufgebaut und bestärkt haben. Danke.

Lebenslauf

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderwertig um Zulassung der Promotion beworben habe.

Ich erkläre micheinverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift (Gwendolyn Gold)