UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie

Direktor: Prof. Dr. med. Gerhard Adam

Hochauflösende MR-Tomographie der Achillessehne: Evaluation von Kriterien zur Differenzierung von asymptomatischen und symptomatischen Sehnen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Lena Christina Maas aus Hamburg

Hamburg 2010

Angenommen von der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 11.10.2010

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. C. Weber

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Ulrike Wedegärtner

Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in: PD Dr. Thorsten Bley

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Material und Methoden	8
2.1 Patienten	8
2.2 Geräte	10
2.3 Aufnahmetechnik	10
2.4 Methoden der Messung	11
2.5 Statistische Analyse	18
3. Ergebnisse	19
3.1 Quantitativ	19
3.2 Qualitativ	22
4. Diskussion	28
5. Zusammenfassung	37
6. Abkürzungsverzeichnis	38
7. Literaturverzeichnis	39
8. Danksagung	42
9. Lebenslauf	43
10 Fidesstattliche Erklärung	44

1. Einleitung

Als die stärkste, größte und dickste Sehne des menschlichen Körpers stellt die Achillessehne die Verbindung zwischen dem Fersenbein und der Wadenmuskulatur dar. Ihren Namen verdankt die Sehne Achilles, dem berühmten Helden der griechischen Mythologie. Es heißt, er wurde von seiner Mutter im Fluss der Unterwelt, Styx, gebadet und somit unverwundbar gemacht. Nur an der Ferse hielt seine Mutter ihn fest und er blieb dort verwundbar. An diese Stelle traf Apollo mit seinem Pfeil, so dass der schnellste Läufer des Altertums getötet werden konnte (Thermann 1996).

Die zwei Hauptfunktionen von Sehnen sind erstens die Kraftübertragung zwischen Muskel und Knochen und zweitens das Speichern von elastischer Energie. Hieraus ergibt sich die besondere Wichtigkeit der Achillessehne: sie beugt das Sprunggelenk und zieht so den Vorfuß nach unten. Durch diese Funktion kann der Mensch gehen, springen und stehen.

Anatomisch gesehen wird die Achillessehne aus der Aponeurose des Musculus gastrocnemius und des Musculus soleus geformt. Die Sehne misst oberhalb der calcanearen Insertion etwa 10 -15 cm (Thermann 1996). Die Insertion erfolgt posterior am mittleren Drittel des Calcaneus.

Sehnen bestehen überwiegend aus dichten Kollagenfaserbündeln. Die Achillessehne ist eingebettet in ein Gerüst aus Proteoglykanen und Wasser. Die Proteine und Kohlenhydrate werden von den Tenoblasten und Tenozyten (verlängerte Fibroblasten und Fibrozyten, die in Reihe zwischen den kollagenen Fasern liegen) produziert (Paavola et al. 2002). Die Achillessehne ist, wie alle Sehnen, umgeben von einer dünnen Membran, dem sogenannten Peritendineum. Diese ermöglicht der Sehne das freie Gleiten in ihrer Umgebung. Das Peritendineum umfasst das Epitendineum und darunter wiederum befindet sich das Endotendineum. Letzteres bindet Kollagenfasern zu Bündeln zusammen und versorgt diese mit Nerven-, Blut- und Lymphgefäßen. Eine Besonderheit ist das Fehlen einer echten synovialen Sehnenscheide (Hess et al. 1989, Kong et al. 2007).

Zwei bis sechs Zentimeter proximal der Insertion am Calcaneus ist die Anzahl an Blutgefäßen und damit auch die nutritive Versorgung vermindert (Paavola et

al. 2002, Arndt 1997, Stoller 2007, Romaneehsen und Kreitner 2005, Shalabi et al. 2005). In dieser Region ist die Mehrzahl der Rupturen lokalisiert.

Zwischen Calcaneus und Sehne liegt die Bursa subachillea (Shalabi 2005), mit Synovialflüssigkeit gefüllt, und anterior umgeben von Kagers Fettpolster. Auf diese Weise schützt sie die Sehne vor Reibung am Calcaneus. Außerdem gibt es dorsal der Sehne gelegen noch die Bursa subcutanea.

Gelegentlich kommt eine sogenannte Haglund-Ferse vor, die dadurch charakterisiert ist, dass das Tuber calcanei hinten oben neben dem Ansatz der Achillessehne stark hervorspringt.

Zusätzlich zur klinischen Untersuchung und dem Ultraschall ist die Magnetresonanz-Tomographie (MRT) ein wichtiges Standardverfahren in der Diagnostik von Achillessehnenerkrankungen. Die Bildgebung der Sehne beeinflusst die Wahl der Therapie, hat Einfluss auf die Prognose und ist wichtig für Verlaufskontrollen (Kälebo et al. 1992). Die MRT ist der Goldstandard in der Bewertung von Achillessehnenerkrankungen. Die Sonographie ist zwar deutlich kostengünstiger, bietet jedoch als wesentliche Einschränkung Datenrepräsentation als Übersichtsaufnahme an. Nachteile der MRT sind die Untersuchungskosten langen Untersuchungszeiten. Auch hohen und Kontraindikationen wie Herzschrittmacher oder Metallimplantate schränken die Verwendung der MRT ein (Reiter et al. 2004). Um eine möglichst objektive Untersuchung der Achillessehne zu gewährleisten, ist die MRT jedoch wesentlich besser geeignet als die Sonographie, da nur auf MRT-Bildern technisch exakt vermessen werden kann.

Aufgrund ihrer extrem kurzen T2-Relaxationszeit stellen sich gesunde Sehnen in allen Pulssequenzen im MRT homogen signalarm dar. Außerdem weist die Achillessehne eine einheitliche Dicke auf und ist ohne Nachweis von retrocalcanearer Flüssigkeit (Marcus et al. 1989, Neuhold et al. 1992, Schweitzer und Karasick 2000).

Lipidablagerungen bei Sehnendegenerationen und Einblutungen führen zu einem erhöhten intratendinösen Signal im T1-gewichteten Bild. Hohe Signalintensitäten im T2-gewichteten Bild weisen je nach Ausdehnung und

Anordnung auf entzündliche Veränderungen Rupturen hin. oder Sehnenverdickungen werden im Rahmen chronisch entzündlicher Veränderungen beobachtet, während lokalisierte Querschnittsreduktionen auf partielle Rupturen hinweisen können (Romaneehsen und Kreitner 2005). Es gibt jedoch auch Studien, die gezeigt haben, dass diese rein morphologische Beschreibung der Achillessehne keine sichere Differenzierung zwischen asymptomatischen, gesunden und symptomatischen, kranken Sehnen erlaubt. So zeigten sich auch in asymptomatischen Patienten hyperintense, intratendinöse Signale, die punktförmig oder longitudinal konfiguriert waren (Mantel et al. 1996, Bertoletto et al. 1995, Soila et al. 1999, Aström et al. 1996, Haims et al. 2000). Diese Signalalterationen erwiesen sich in einer histologischen Korrelation mit den MRT-Befunden als Bindegewebssepten mit intratendinösen Gefäßen und wiesen keine pathologischen Veränderungen auf (Mantel et al. 1996).

Da die Beurteilung der Achillessehne anhand rein morphologischer Kriterien zu Überlappungen zwischen asymptomatischen und symptomatischen Patienten führt, scheint die Einführung quantitativer Messkriterien sinnvoll.

Es existieren in der Literatur keine übereinstimmenden Angaben und Arbeiten dazu, wann eine Achillessehne im MRT (oder auch mit anderen diagnostischen Mitteln) als gerissen zu diagnostizieren ist, wie Verdickungen zu beurteilen sind und ab wann sie pathologisch sind, bzw. worauf Signalanhebungen genau hinweisen. Falls Größenangaben vorhanden sind, so ist es für einen Kliniker nicht genau nachzuvollziehen, wie und wo gemessen wurde.

Das Ziel dieser Untersuchung ist daher die Erarbeitung von repräsentativen und nachvollziehbaren Messstrecken für die pathologischen Veränderungen der Achillessehne, um so dem behandelnden Arzt klare und einfach reproduzierbare Entscheidungshilfen an die Hand zu geben.

Aspekte, die im Rahmen dieser Studie diskutiert werden:

- Korrelationen zwischen den einzelnen Messstrecken, dem Alter und Geschlecht der Patienten
- Mögliche Gruppeneinteilung der pathologisch veränderten Achillessehnen und ihre Erkennungsmerkmale

- Nutzen einer i.v. Kontrastmittelgabe (KM) im Rahmen einer MRT
- Grenzwerte vom Übergang einer gesunden Achillessehne hin zu einer pathologisch veränderten Sehne in Bezug auf die cranio-caudale Länge und sagittale Tiefe
- Rolle der Bursa subachillea bei der Bewertung des Erkrankungsgrades der Achillessehne
- Bedeutung der Peritendinitis

2. Material und Methoden

Im Rahmen dieser Studie wurden 309 pathologische MRT-Untersuchungsserien von Patienten nach morphologischen Gesichtspunkten ausgewertet.

Zu der MRT lagen die Diagnosen einer radiologischen Praxis mit orthopädischem Schwerpunkt vor. Die Auswertung der MRT-Untersuchungen wurde von zwei Radiologen im Konsensus durchgeführt. Es wurden qualitative und quantitative Merkmale bewertet. Quantitativ evaluiert wurden Messstrecken von Patienten- und Kontrollkollektiv. Des Weiteren wurden die Patienten nach bestimmten qualitativen Kriterien in klinische Gruppen (in Anlehnung an Schweitzer und Karasicks Auswertungsschema (siehe **Tabelle 9**, Seite 23)) eingeteilt (Schweitzer und Karasick 2000).

2.1 Patienten

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden MRT-Untersuchungen der Achillessehne bei Patienten, die sich einer Achillessehnenuntersuchung im Zeitraum von November 1999 bis Februar 2007 unterzogen haben, durchgeführt.

In diesem Zeitraum wurden 309 Achillessehnen untersucht, von denen 264 eingeschlossen und 45 ausgeschlossen wurden.

Indikation zum Ausschluss war eine Reruptur oder Teilreruptur.

Zusätzlich wurden 100 gesunde Achillessehnen vermessen.

Das Durchschnittsalter Untersuchung der Patienten mit bei der Achillessehnenbeschwerden betrug 49,8 Jahre. Der jüngste Patient war 19 Jahre alt, der älteste 85 Jahre (Tabelle 1). 205 männliche und 59 weibliche Patienten mit Achillessehnenbeschwerden wurden in dieser retrospektiven Studie untersucht. Davon wurden zu fast gleichen Anteilen (49,2% linke Sehnen und 50,8 % rechte Sehnen) linke und rechte Sehnen untersucht. Insgesamt wurden 37 Patienten (14%) an der Achillessehne operiert und danach im MRT untersucht. 17 Patienten (6,4%) erlitten eine Totalruptur und weitere 25 (9,5%) wiesen eine Teilruptur auf.

Tab. 1 Altersverteilung der Patienten mit Achillessehnenbeschwerden und der Kontrollgruppe

Altersgruppen	Patienten		Kontrollgruppe	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
10 – 19 Jahre	1	0,4	14	14,0
20 – 29 Jahre	3	1,1	13	13,0
30 – 39 Jahre	58	22,0	22	22,0
40 – 49 Jahre	74	28,0	21	21,0
50 – 59 Jahre	73	27,7	9	9,0
60 – 90 Jahre	55	20,8	21	21,0
gesamt	264	100,0	100	100,0

Angaben zu ihrer sportlichen Tätigkeit haben insgesamt 91 Patienten gemacht. 35 davon sind regelmäßige Jogger, neun spielen Handball, acht Fußball. Sechs betrieben Tennis als Hobby, vier spielten Volleyball und weitere zwei Squash. Die restlichen 27 trieben anderen Sport (**Abbildung 1**).

Sportangaben
Patienten mit Achillessehnenverletzungen

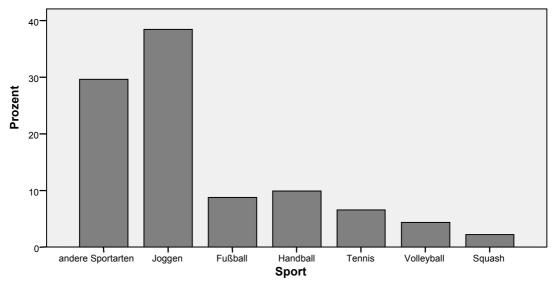


Abb. 1 Prozentuale Verteilung der Patienten mit Achillessehnenbeschwerden auf die unterschiedlichen Sportarten

Das Durchschnittsalter der Patienten ohne Achillessehnenauffälligkeiten ist 41,5 Jahre. Der jüngste Patient ist sieben Jahre und der älteste Patient 86 Jahre alt (**Tabelle 1**).

Dieses Normalkollektiv wurde aus Patienten zusammengestellt, welche aus anderen Gründen als einer Achillessehnenverletzung eine MRT-Aufnahme des Fußes erhalten haben (z.B. Distorsionstraumen). Gemäß klinischer

Untersuchung hatten diese Patienten keine Achillessehnenbeschwerden und nach Untersuchung im MRT auch keine Auffälligkeiten in der Bildgebung.

2.2 Geräte

Alle MRT-Untersuchungen wurden mit Hilfe eines 1,5 T MRT-Gerätes durchgeführt (Gyroscan NT Intera, Release: NT 9.5.2, Philips, Niederlande) durchgeführt.

2.3 Aufnahmetechnik

Die Patienten wurden in Rückenlage mit den Füßen voran auf dem Untersuchungstisch gelagert. Der Knöchel und die Unterschenkel wurden in einer Spule positioniert. Das Untersuchungsfeld reichte von der Ferse bis zum proximalen Drittel des Unterschenkels. Das MRT-Untersuchungsprotokoll lautete wie folgt in **Tabelle 2 und 3**:

Tab. 2 MRT-Untersuchungsprotokoll

Parameter	STIR-Sequenz sagittal (STIR = Short-Tau-Inversion-Recovery)	T1 TSE sagittal (TSE = Turbo-Spin-Echo)	T2 TSE coronar
Coil / Spule	Head Array	Head Array	Head Array
Field of view (FOV)	300 mm	300 mm	260 mm
RFOV (=rectangular field of view)	100 %	100 %	80 %
Slice thickness	3,5 – 4,0 mm	3,5 – 4,0 mm	3 mm
	Slice-Anzahl 16-20	Slice-Anzahl 16-20	Slice-Anzahl 12
TE (=Echozeit)	15,00 ms	15,00 ms	100 ms
TR (=Repetitionszeit)	1400 ms	550 – 600 ms	2434 ms
NSA (=number of signal averages)	2	2	3
Foldover direction	AP	AP	RL
Matrix Scan	256	512	256/512
Scan Reconstruction	256	512	512
	Scantime : 3 :55 min	Scantime : 2 :06 min	Scantime : 2:48 min

Zusätzlich erhielten 145 Patienten noch eine KM-Gabe i.v. (10 ml Magnevist^R) und anschließend eine T1 SPIR (Spectral Presaturation with Inversion Recovery) sagittal Untersuchung.

Die gesamte Untersuchungsdauer betrug ca. 30 Minuten.

Tab. 3 Fortsetzung des MRT-Untersuchungsprotokolls

Parameter	PD Spir transversal (PD = protonengewichtet)	T1 Spir sagittal nach KM
Coil / Spule	Head Array	Head Array
Field of view (FOV)	200 mm	300 mm
RFOV	90 %	100 %
Slice thickness	4,0 – 4,5 mm	3,5 – 4,0 mm
	Slice-Anzahl 20-24	Slice-Anzahl 16-20
TE	17,00 ms	15,00 ms
TR	4211 ms	600 ms
NSA	3	1-2
Foldover direction	RL	AP
Matrix Scan	512	255/512
Scan Reconstruction	256/512	512
	Scantime: 3:35 min	Scantime: 3:09 min

2.4 Methoden der Messung

Gemessen wurde in dem Programm Osirix (Version 2.6). Die im JPEG-Format geladenen MRT-Bilder wurden durch Klicken mit der Maus und dadurch entstehende Linien vermessen. Mithilfe von Adobe Photo Elements (Version 2.0) wurden Ausschnitte aus den Bildern erstellt und Pfeile eingefügt.

- Es wurde eine Ausmessung anatomischer Strukturen durchgeführt.
 Mittels dieser Messungen (im Wesentlichen Länge, Breite und Tiefe der
 Sehne, sowie Länge, Breite und Fläche der Bursa subachillea) sollten
 eventuelle Unterschiede zwischen gesunden und pathologisch
 veränderten Achillessehnen dargestellt werden (Merkmale A1 bis A8).
- Zusätzlich wurde eine Ausmessung pathologischer intratendinöser Signalalterationen (Merkmale B1 bis B10) durchgeführt und in Anlehnung an Schweitzer und Karasicks Auswertungsschema (siehe **Tabelle 9**, Seite 23) ausgewertet (Schweitzer und Karasick 2000).
- Ebenso wurde auf peritendinöse Veränderungen untersucht (C1 bis C4).

Die **Tabelle 4** zeigt, wie die anatomischen Strecken gemessen wurden.

Tab. 4 Beschreibung der Ausmessung der anatomischen Merkmale

	Ausmessung anatomischer Strukturen				
Merkmal	Beschreibung der Messung	Abb.			
A1	Länge vom Tuber calcanei zum breitesten Teil der Sehne im T1-gewichteten Bild in	2			
	der sagittalen Ebene.				
A2	Tiefe (in antero-posteriorer Richtung) an der breitesten Stelle der Sehne im	2			
	sagittalen T1-gewichteten Bild.				
A3	Länge der verdickten Sehne im T1-gewichteten Bild. Diese Länge definiert sich	3			
	durch die Stellen (jeweils am weitesten cranial, bzw. caudal), die 6 mm breit sind.				
	Dieser antero-posteriore Durchmesser gilt als abnormal, wenn er größer als 6 mm				
	ist (Ulreich et al. 2002 und Kälebo et al. 1992).				
A4	Tiefe der Sehne im T1-gewichteten Bild 3 cm oberhalb des Calcaneus in der	4			
	Sagittalebene. Bei Soila et al. ist dies als Standardabstand genommen worden.				
A5	Länge der Bursa subachillea im STIR-Bild, gemessen in cranio-caudaler Richtung.	5			
A6	Breite der Bursa subachillea im axialen STIR-Bild in medio-lateraler Richtung.	6			
A7	Antero-posteriorer Durchmesser in der Tiefe im axialen T1-gewichteten Bild an der	7			
	dicksten Stelle der Sehne.				
A8	Medio-lateraler Durchmesser in der Breite im axialen T1-gewichteten Bild. Aus den	7			
	beiden Durchmessern wurde dann mittels der Formel für die Fläche einer Ellipse				
	(Fläche = π*a*b; wobei a und b Durchmesser sind) die Fläche berechnet.				
	1				

Abbildung 2 und 3 zeigen exemplarisch die Merkmale A1, A2 und A3.

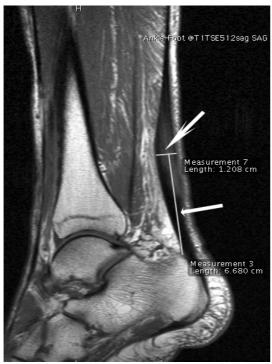


Abb. 2
Die lange Pfeilspitze markiert die Tiefe der Sehne (A2), die kurze Pfeilspitze markiert die Länge der Sehne (A1).

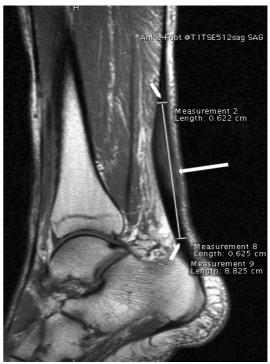


Abb. 3
Die kleinen Pfeile markieren die 6 mm tiefen Stellen der Sehne, dazwischen ist die Länge der verdickten Sehne (A3, großer Pfeil).

Abbildung 4 und 5 stellen die Merkmale A4 und A5 dar.



Abb. 4
Der Pfeil markiert die Tiefe der Sehne
3 cm oberhalb des Calcaneus (A4).



Abb. 5
Der Pfeil zeigt auf die Bursa subachillea.
Der Strich parallel zu dieser diente
der Messung der Länge (A5).

In **Abbildung 6 und 7** sind die Merkmale A6, A7 und A8 zu sehen.

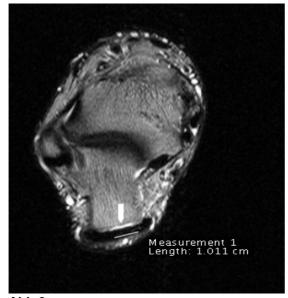


Abb.6
Der Pfeil zeigt auf die Breite der Bursa subachillea im axialen Bild (A6).

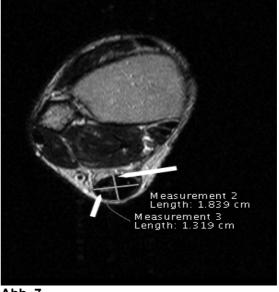


Abb. 7

Der kleine Pfeil zeigt auf den medio-lateralen

Durchmesser der Sehne (A7) und der große

Pfeil zeigt auf den antero-posterioren

Durchmesser (A8) der Achillessehne.

Die **Tabelle 5** beschreibt, wie die pathologischen intratendinösen Signalalterationen gemessen wurden.

Tab. 5 Beschreibung der Ausmessung pathologischer intratendinöser Signalalterationen

	Ausmessung pathologischer intratendinöser Signalalterationen	
Merkmale	Beschreibung der Messung	Abb.
B1	Länge der Signalanhebung im T1-gewichteten Bild in cranio-caudaler Richtung	8
	in der Sagittalebene.	
B2	Tiefe der Signalanhebung im T1-gewichteten Bild in antero-posteriorer	8
	Richtung in der Sagittalebene.	
B3	Dehiszenz der Rupturenden im T1-gewichteten Bild. Hierunter wurde	9
	verstanden: die der Ruptur am nächsten gelegene vollständige intakte	
	Sehnensubstanz.	
B4	Länge der Signalanhebung im STIR-Bild in der Sagittalebene	10
B5	Tiefe der Signalanhebung im STIR-Bild in der Sagittalebene.	10
B6	Erweichungslänge im STIR-Bild. Falls sich innerhalb der Signalanhebung (B4	11
	und B5) ein Bereich abzeichnete, der eine besonders starke Signalanhebung	
	im Vergleich zur Umgebung zeigte, so wurde dieser noch einmal gesondert in	
	Länge und Tiefe vermessen.	
B7	Breite der Signalanhebung im STIR-Bild.	11
B8	Anteil der Läsion im axialen T2-gewichteten Bild. Es wurde auf Grundlage von	12
	4 Kategorien (jeweils: weniger als 25, 50, 75 oder 100 % des Querschnitts	
	defekt) definiert.	
B9	Länge der Nekrosehöhle im KM-Bild in sagittaler Ebene bei vorhandener	13
	Nekrose.	
B10	Tiefe der Nekrosehöhle im KM-Bild in sagittaler Ebene.	13

Auf der nächsten Seite sind in den **Abbildungen 8, 9, 10 und 11** die Merkmale B1, B2, B3, B4, B5, B6 und B7 dargestellt.



Abb. 8

Der große Pfeil zeigt auf die Vermessung der Länge der Signalanhebung (B1) und der kleine Pfeil zeigt auf die Tiefe der Signalanhebung im T1-gewichteten Bild (B2).



Abb. 9
Die kleinen Pfeile markieren die Stellen mit noch intakter Sehnensubstanz nahe der Ruptur und der große Pfeil zeigt auf die Streckenlänge der Dehiszenz (B3).

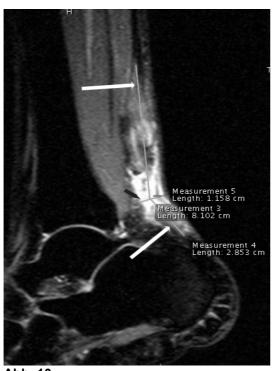


Abb. 10

Der kleine Pfeil zeigt auf die Messung der Tiefe der Signalanhebung (B5) und die beiden großen Pfeile zeigen auf die (in diesem Fall zusammengesetzte) Messung der Signalanhebung (B4).



Abb. 11
Der große Pfeil zeigt auf die Länge der kräftigen Signalanhebung (B6) innerhalb der gesamten Signalanhebung. Der kleine Pfeil zeigt auf die Tiefe dieser Signalanhebung (B7) [gleicher Patient wie in Abb. 10].

Abbildung 12 und 13 zeigen das Merkmal B8, B9 und B10.

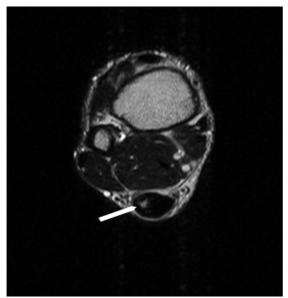


Abb. 12 In diesem Fall sind weniger als 25 % der Sehne von der Erweichung betroffen. (B8)



Abb.13
Der Pfeil zeigt auf die Vermessung der Länge und der Tiefe der Nekrosehöhle. (B9 / B10).

In **Tabelle 6** sind die verschiedenen Darstellungen der Peritendinitis im MRT zusammengefasst, sowie das Markraumödem aufgeführt.

Tab. 6 Beschreibung peritendinöser Veränderungen

Peritendinöse Veränderungen					
Merkmale Beschreibung der Signalanhebung					
C1	Peritendinitis im KM-Bild. Zu erkennen an Signalanhebung um die Sehne herum.	14			
C2	Peritendinitis im sagittalen T2-gewichteten Bild.	15			
C3	Peritendinitis im axialen Querschnittsbild (T2-gewichtet)	16			
C4	Markraumödem im Calcaneus im T1-gewichteten Bild.	17			

Abbildung 14 und 15 auf der folgenden Seite weisen jeweils deutliche Peritendinitis auf (Merkmal C1 und C2).



Abb. 14
Die Pfeile zeigen auf die Peritendinitis. Dies ist der gleiche Patient wie in Abb. 15, nur dass hier vorher Kontrastmittel gegeben wurde (C1).



Abb. 15

Der Pfeil verweist auf die Peritendinitis im
T2-gewichteten Bild (C2). Dies ist der gleiche
Patient wie in Abb. 14, nur ohne KM-Gabe.

Die Merkmale C3 und C4 sind in Abbildung 16 und 17 dargestellt.

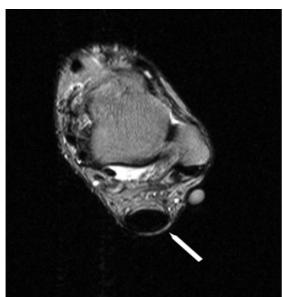


Abb. 16
Der Pfeil zeigt auf die Signalanhebung im peritendinösen Gewebe (Peritendinitis) (C3).



Abb. 17
Der Pfeil zeigt auf ein Markraumödem im Calcaneus (C4).

2.5 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 15.0). Die quantitativen Merkmale wurden nach Kolmogorov-Smirnov auf Normalverteilung getestet. Hier zeigten nicht alle Parameter eine Normalverteilung. Deswegen wurde für den Gruppenvergleich (Patienten- und Kontrollgruppe) der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test angewandt, um die quantitativen Merkmale der Patienten mit und ohne Beschwerden auf Signifikanz zu testen ($p \le 0,05$).

Mit der binär-logistischen Regressionsanalyse (Einschlussverfahren; für Aufnahme p=0,05 für Ausschluss p=0,01; Klassifikationsschwellenwert: 0,5) wurden quantitative Merkmale analysiert, die sich zur Unterscheidung zwischen gesunden und geschädigten Achillessehnen eignen.

3 Ergebnisse

3.1 Quantitativ

Ausmessung anatomischer Strukturen

Die mittlere Länge vom Calcaneus zur breitesten Stelle in T1-gewichteten Bildern der Patienten ohne Achillessehnenverletzungen betrug im Vergleich zu denen mit Achillessehnenverletzungen 33,7 mm zu 38,3 mm (A1). Die mittlere Tiefe an der breitesten Stelle der Sehne in T1-gewichteten Bildern der Patienten ohne Beschwerden bezifferte sich auf 6,3 mm und die der mit Beschwerden auf 12,0 mm (A2). Die mittlere sagittale Länge der Sehne in T1-gewichteten Bildern ergab 45,9 mm bei den Patienten ohne Verletzungen und 83,2 mm bei denen mit Verletzungen (A3). Die mittlere sagittale Tiefe 30,0 mm oberhalb des Calcaneus betrug 5,8 mm bei der Kontrollgruppe und 10,6 mm bei den lädierten Sehnen (A4). Die Länge der Bursa subachillea maß bei der Kontrollgruppe im Mittel 5,3 mm und bei den Patienten mit Verletzungen an der Sehne 8,3 mm (A5). Zwischen der Breite der Bursa ergab sich nur eine kleine Differenz zwischen den Patienten ohne und denen mit Beschwerden: 12,6 mm bzw. 11,9 mm (A6).

Die errechnete Fläche des Sehnenquerschnitts betrug bei den Patienten mit Beschwerden im Mittel 16,0 mm² und bei den Patienten ohne Beschwerden 6,1 mm².

Unterscheidung von gesunden und pathologisch veränderten Achillessehnen Die Vermessung der Achillessehne konnte in allen 264 Patientenfällen und den 100 Kontrollfällen durchgeführt werden. Die Bursa subachillea konnte in beiden Gruppen aufgrund fehlender Darstellung zuweilen gar nicht oder nur teilweise ausgemessen werden. Im Patientenkollektiv ließ sich die Länge bzw. Breite der Bursa nur in 190 bzw. 57 Fällen bestimmen, im Kontrollkollektiv waren es 84 bzw. 59 Fälle.

Die Ergebnisse der anatomischen Ausmessungen für beide Gruppen sind in **Tabelle 7** aufgeführt.

Tab. 7 Anatomische Ausmessungen der Achillessehne in Patienten- und Kontrollgruppe

		Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-	
	Kriterium	N	[cm]	[cm]	[cm]	abweichung	Varianz
-	Patientengruppe						
aj	A 1	264	0,30	14,00	3,8335	1,87255	3,506
T E	A 2	264	0,15	4,60	1,1971	0,44475	0,198
ä	A 3	254	1,30	18,80	8,3218	3,55144	12,613
<u>6</u>	A 4	264	0,40	6,70	1,0615	0,49840	0,248
) J	A 5	190	0,40	1,60	0,8305	0,24541	0,060
=	A 6	57	0,50	2,40	1,1895	0,35035	0,123
ᇦ	A 7	264	0,40	2,60	1,1790	0,41512	0,172
Patientengruppe	A 8	264	0,18	3,30	1,7825	0,44468	0,198
Φ	Querschnittsfläche (Ellipsennäherung) [cm²]	264	0,16	6,22	1,5953	1,08653	1,181
_	Kontrollgruppe						
6	A 1	100	1,40	5,90	3,3670	0,96474	0,931
큺	A 2	100	0,50	1,00	0,6280	0,09648	0,009
3	A 3	100	0,60	8,50	4,5920	1,60408	2,573
Kontrollgruppe	A 4	100	0,40	0,90	0,5780	0,08828	0,008
g	A 5	84	0,20	1,00	0,5274	0,17791	0,032
등	A 6	59	0,60	1,80	1,2559	0,31474	0,099
ğ	A 7	100	0,40	0,80	0,5854	0,08055	0,006
Ф	A 8	100	1,00	2,30	1,5326	0,27666	0,077
	Querschnittsfläche (Ellipsennäherung) [cm²]	100	0,05	1,45	0,6101	0,29592	0,088

Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurde geprüft, ob zwischen den beiden Gruppen signifikante Unterschiede bezüglich der quantitativen Messstrecken vorliegen. Bis auf das Kriterium A1 (p=0,082; Länge vom Tuber calcanei bis zum breitesten Teil der Sehne) und das Kriterium A6 (p=0,151; Breite der Bursa subachillea) konnte man in den übrigen Kriterien sowie der Querschnittsfläche der Sehne signifikante Unterschiede zwischen dem Kontroll- und dem Patientenkollektiv feststellen (siehe **Tabelle 8**). So ergaben sich signifikante Unterschiede in Bezug auf die Tiefe (12,0 mm bzw. 6,3 mm) und Länge (83,2 mm bzw. 45,9 mm) der Sehne, der Fläche des Sehnenquerschnitts (1,60 mm² bzw. 0,61 mm²), sowie auch auf die Länge der Bursa subachillea (8,3 mm bzw. 5,3 mm).

Tab. 8 Ergebnis des Mann-Whitney-U-Testes für signifikante Unterschiede bezüglich der quantitativen Messungen

Kriterium	Mann-Whitney-U	p ≤ 0,05 signifikant
A1	11328,0	≥0,082*
A2	1192,0	≥0,001
A3	3946,5	≥0,001
A4	1386,5	≥0,001
A5	2384,5	≥0,001
A6	1422,5	≥0,151*
A7	818,5	≥0,001
A8	6543,5	≥0,001
Querschnittsfläche	3621,0	≥0,001

^{*=} nicht signifikant

Mit Hilfe der binär-logistischen Regressionsanalyse (Einschlussverfahren; für Aufnahme p=0,05 für Ausschluss p=0,01; Klassifikationsschwellenwert: 0,5) wurde untersucht, anhand welcher quantitativen Merkmale (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, F) sich die Patienten mit Beschwerden am besten von denen ohne Beschwerden unterscheiden lassen. Dies sind genau drei Messwerte, nämlich die Tiefe in dem sagittalen T1-gewichteten Bild 3 cm oberhalb des Calcaneus (A4), die Länge der Bursa in STIR (A5) und die Fläche des Sehnenquerschnitts (F). Aus diesen Messwerten setzt sich unten genannte Formel zusammen.

Für eine schnelle Diagnostik ist es also ratsam, als erstes diese drei Messstrecken zu messen und mittels der statistisch errechneten Formel zu prüfen, ob sie noch im gesunden Bereich liegen oder nicht.

Diese Formel lautet:

$$R = -16,805 \cdot A4 - 8,429 \cdot A5 - 8,331 \cdot F + 23,461$$

Wenn R > 0,5 ist, ist die untersuchte Sehne gesund und falls R < 0,5 ist, ist die Sehne pathologisch verändert.

Die Sensitivität dieses Verfahrens mit drei Messwerten liegt bei 96,5 % und die Spezifität bei 90,8 %. Im Gegensatz dazu würde sich unter Einbeziehung nur jeweils eines dieser Merkmale eine geringere Sensitivität und Spezifität ergeben.

Wenn nur das Merkmal A4 berücksichtigt würde, ergäbe dies eine Sensitivität von 93,5 % und eine Spezifität von 81,6 %. Wenn nur das Merkmal A5

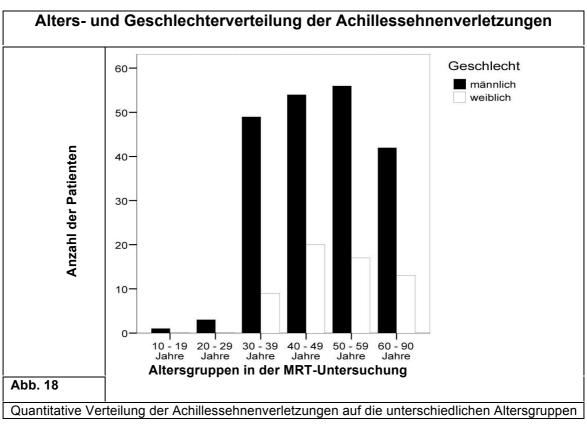
berücksichtigt würde, ergäbe sich eine Sensitivität von 90,6 % und eine Spezifität von 61,8 %. Wenn nur das Merkmal F berücksichtigt würde, ergäbe sich eine Sensitivität von 90,6 % und eine Spezifität von 80,3 %. Deswegen ist dieses Verfahren unter Einschluss dieser drei Merkmale am aussagekräftigsten.

3.2 Qualitativ

Ausmessung pathologischer intratendinöser Signalalterationen

Eine Haglundferse wurde bei 14 Patienten diagnostiziert. Des Weiteren ergab sich aus der Anamnese, dass elf Patienten nach Einnahme eines Gyrasehemmers unter Achillessehnenbeschwerden litten.

Verletzungen der Achillessehne treten gehäuft ab dem 3. Lebensjahrzehnt auf; vorher vereinzelt und am häufigsten sind sie im vierten und fünften Lebensjahrzehnt (**Abbildung 18**).



Die Patienten mit Beschwerden wurden an Hand der von Schweitzer und Karasick beschriebenen MRT Merkmale einem von elf Merkmalen zugeordnet. Diese haben insgesamt sieben Gruppen aus diesen Merkmalen zusammengefasst. In der vorliegenden Arbeit wurden diese Merkmale zunächst

einzeln betrachtet. Ließen sich mehrere Merkmale finden, so wurde immer dasjenige genommen, welches auf eine größere Verletzung der Sehne hinwies. Im Folgenden ist die Aufteilung in die sieben klinischen Gruppen nach Schweitzer und Karasick und die Zuordnung unseres Patientenkollektivs in die entsprechenden Untergruppen dargestellt (**Tabelle 9**):

Tab. 9 Einteilung der Befunde in symptomatische Achillessehnen nach Schweitzer und Karasick.

Klinische Befunde	Histologische Befunde	MRT Befunde		n*	Abb.
I. Tendonitis	Peritendinitis	1. Teilweise unterbrochenes, aber die Sehne umgebendes hohes Signal			19
II. Akute Tendonitis	Hypoxische Degeneration	Verdickte schwarze Sehne Teilweise unterbrochenes, aber die Sehne umgebendes hohes Signal		47	20
	Selten echte Tendonitis	3. Ödem von Kagers Fettpolste	er	1	21
III. Inserierende Tendonitis	Mikroskopische kleine Risse	4. Multiple dünne distale lonigtudinale Linien auf T2-gewichteten Bildern 5. Intratendinöse Ossifikation		23	22
	Ca++ und Ossifikation			-	
Enthesopathie		6. Posteriore calcaneare Enthesophyten			23
IV. Chronische Tendonitis oder Tendonosis	Hypoxische Degeneration	7. Verdickte Sehne mit flachem oder konvexem anterioren Rand und kleinem internen Signal		67	24
V. Stille Tendonitis	Mucoide Degeneration	8. Intratendinöses Signal, welches stärker sichtbar wird auf T2-gewichteten Bildern, aber auf sagittalen Bildern unterbrochen erscheint		77	25
VI. Spontaner	Interstitiale Risse	9. Longitudinales hohes Signal		9	26
Achillessehnenriss	(Verwachsung mucoider Vakuolen)	10. Ununterbrochenes	auf T2- gewichteten Bildern	10	27
VII. Chronischer Riss	Hypoxische Degeneration und Riss	11. Horizontale Sehnenunterbrechung mit verdickter Sehne		16	28

n* gibt die Anzahl der Patienten unserer Studie mit dem entsprechenden MRT-Merkmal an.

Auf der folgenden Seite zeigt die **Abbildung 19** den MRT-Befund Nr.1, der der klinischen Gruppe I zugeordnet ist. In **Abbildung 20** ist der MRT-Befund Nr. 2 zu sehen und in **Abbildung 21** der MRT-Befund Nr. 3. Beide sind der klinischen Gruppe II zugewiesen. Des Weiteren ist auch in **Abbildung 22** MRT-Befund Nr. 4 aus der klinischen Gruppe Nr. III zu sehen.

Auf Seite 23 sind in den **Abbildungen 23, 24 und 25** jeweils MRT-Befund Nr. 6, 7 und 8 zu sehen, die wiederum jeweils der klinischen Gruppe III, IV bzw. V zugeordnet sind.



Abb. 19
Gruppe I – 1; der Pfeil zeigt auf die Peritendinitis.



Abb.20
Gruppe II – 2; der Pfeil zeigt auf die verdickte Sehne.



Abb. 21
Gruppe II – 3; der Pfeil zeigt auf das Ödem von Kagers Fettpolster.



Abb. 22
Gruppe III – 4; der Pfeil zeigt auf die dünnen longitudinalen Linien.



Abb. 23Gruppe III – 6; der Pfeil zeigt auf den Knochensporn.

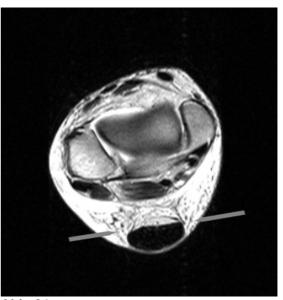
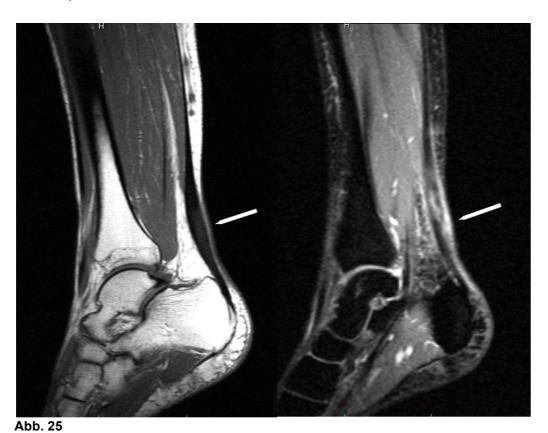


Abb. 24
Gruppe IV – 7; zwischen den beiden Pfeilen liegt der flache anteriore Rand der Sehne.



Gruppe V - 8; links zeigt der Pfeil auf ein intratendinöses Signal (im T1-gewichteten Bild), welches deutlicher sichtbar wird im T2-gewichteten Bild rechts.

In den **Abbildungen 26, 27 und 28** sind MRT-Befund Nr. 9, 10 und 11 dargestellt. Sie sind jeweils der klinischen Gruppe VI und VII zugewiesen.

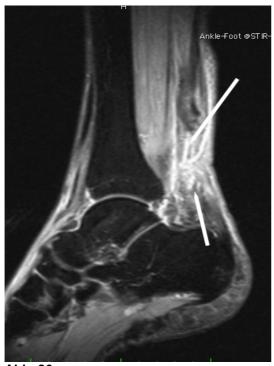


Abb. 26
Gruppe VI – 9; dieses Bild zeigt eine spontane Ruptur mit longitudinaler Signalanhebung.



Abb. 28
Gruppe VII – 11; der Pfeil verweist auf die horizontale Unterbrechung der Sehnenstruktur. Es ist eine chronische Ruptur.

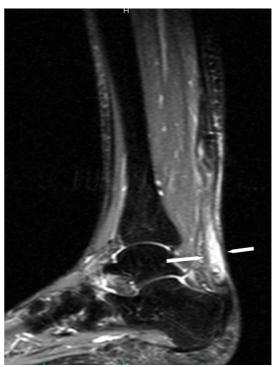


Abb. 27 Gruppe VI – 10; dies ist ebenso eine Ruptur. Es ist eine unterbrochene Signalanhebung zu sehen (Pfeile).

Die Ergebnisse der Ausmessung pathologischer intratendinöser Signalalterationen sind in **Tabelle 10** aufgeführt. Eine Nekrosehöhle konnte bei nur 18 Patienten nachgewiesen werden.

Tab. 10 Ergebnisse der Ausmessung pathologischer intratendinöser Signalalterationen.

Intratendinös	Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-	Varianz
	N	[cm]	[cm]	[cm]	abweichung	
B 1	168	0,30	16,50	4,9500	3,41953	11,693
B 2	167	0,10	2,30	0,6713	0,41393	0,171
B 3	24	1,00	17,70	8,8167	3,84116	14,754
B 4	181	0,50	15,40	5,2928	3,18451	10,141
B 5	180	0,10	2,30	0,7000	0,41034	0,168
B 6	89	0,50	9,50	2,9079	1,86774	3,488
B 7	89	0,10	1,90	0,7191	0,33638	0,113
B 8*						
B 9	18	0,30	5,80	2,4333	1,68663	2,845
B 10	18	0,10	1,00	0,5500	0,29951	0,090

^{*} bei B 8 ist keine Angabe von Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung und Varianz möglich, da es sich nur um eine prozentuale Einschätzung der Größe der Sehnenquerschnittsfläche handelt.

Peritendinöse Veränderungen

In 30,3 % der Fälle ließ sich eine Peritendinitis im STIR - Bild nachweisen, in 22,7 % der Fälle im axialen Bild und bei 17,4 % der Fälle auch im Kontrastmittelbild. Allerdings wurde bei 45,1 % der Patienten keine Kontrastmittelaufnahme erstellt. Hieraus ergibt sich, dass in 46 von insgesamt 145 angefertigten Kontrastmittelaufnahmen (also 31,7 %) auch eine Peritendinitis nachgewiesen werden konnte. Die Gabe von Kontrastmittel führte jedoch zu keiner verbesserten Aussage bezüglich peritendinöser Veränderungen oder Einblutungen.

Ein Ödem im Calcaneus wiesen 4,2 % aller Patienten auf.

In **Tabelle 11** ist die Anzahl der peritendinösen Veränderungen im KM-Bild (C1), im sagittalen T2-gewichteten Bild (C2) und im axialen T2-gewichteten Querschnittsbild (C3) gezeigt. C4 steht für ein Ödem im Calcaneus.

Tab. 11 Ergebnisse der peritendinösen Untersuchungen

Peritendinöse Veränderungen	Anzahl N	Prozent von 264
C 1	46	17,4
C 2	80	30,3
C 3	60	22,7
C 4	11	4,2

4. Diskussion

Trotz ihrer kräftigen Beschaffenheit ist die Achillessehne eine der Sehnen mit den häufigsten Verletzungen. Verursacht werden Achillessehnenverletzungen durch indirekte oder direkte Traumata und sich wiederholende Mikrotraumata. Die Widerstandsfähigkeit der Sehne gegen extreme Belastungen nimmt auch mit der Atrophie der Muskulatur ab (u. a. bedingt durch rheumatoide Arthritis, systemischen Lupus erythematodes, Diabetes mellitus, Gicht, chronisches Nierenversagen und lokale oder systemische längerfristige Kortisontherapie) (Thermann 1996, Kvist 1994). Achillessehnenrupturen zählen zu den häufigsten Sportverletzungen (insbesondere bei Ballsportarten) und treten gehäuft zwischen dem 30. und 45. Lebensjahr auf. Männer sind davon deutlich häufiger betroffen als Frauen. Die Verletzungsmechanismen sind bei den älteren Patienten (über 50 Jahre) hingegen eher zufälliger Natur, etwa beim Verdrehen des Beines oder beim Aufstehen aus der Hocke.

Verminderte sportliche Tätigkeit, bzw. die vielfach sitzende berufliche Tätigkeit und auch das Alter kann zu einem Abnehmen der Vaskularisation der Sehne führen und somit eine Degeneration bedingen (Kvist 1994). In dieser Studie fand sich Joggen als häufigste Verletzungsursache. Es mag widersprüchlich klingen, dass Joggen einerseits und Bewegungsarmut durch sitzende Tätigkeit andererseits als Ursache für Achillessehnendegeneration angeführt wird. Doch es ist speziell auch eine z. B. durch viel sitzende Tätigkeit minderdurchblutete Sehne bei Joggern (gerade auch bei untrainierten) besonders gefährdet für eine Verletzung. Neben sportlicher Aktivität als Verletzungsursache ist erwähnenswert, dass auch in dieser Studie bei elf Patienten Achillessehnenbeschwerden im Zusammenhang mit der Einnahme eines Gyrasehemmers (Fluorchinolone) entstanden sind. Auf diese Nebenwirkung von Fluorchinolonen ist in der Literatur schon mehrfach hingewiesen worden. Fluorchinolone inhibieren den Metabolismus der Zellen und führen zu einer Reduktion der Zellproliferation. Die Achillessehne ist die von einer solchen Degeneration am häufigsten betroffene Sehne (Kayabas et al. 2008, van der Linden et al. 1999).

Klinische Einteilung der Achillessehnenerkrankungen

Erkrankungen der Achillessehne beinhalten im Wesentlichen Degenerationen und Rupturen. Für die unterschiedlichen Formen der Degeneration der Achillessehne werden viele uneinheitliche Termini verwendet. Eine Einteilung der Achillessehnenveränderungen wurde von Schweitzer und Karasick vorgeschlagen (Schweitzer und Karasick 2000). Sie teilen in sieben Hauptgruppen und 11 Untergruppen ein anhand von MRT-Merkmalen. In dieser Studie wurde im Falle von mehreren zutreffenden MRT-Merkmalen immer das Merkmal der höchsten Gruppenkategorie für die Zuweisung in eine Gruppe gewählt (**Tabelle 9**, Seite 23).

In unserer Studie möchten wir eine klare Einteilung in vier Gruppen vorschlagen, wie im Folgenden erläutert wird.

Bei den elf Gruppen der MRT-Merkmale nach Schweitzer und Karasick gibt es einen deutlichen Anstieg der mittleren Länge (A1) vom Calcaneus ab gemessen von Gruppe 8 ("intratendinöses Signal, das deutlicher wird auf T2-gewichteten Bildern", noch stille Tendonitis) auf Gruppe 9 ("longitudinale Signalanhebung", spontane Ruptur). Die Gruppen 9, 10 und 11 weisen eine mittlere Länge (A1) von ca. 53 mm auf. Selbiges gilt auch für die Länge der verdickten Anteile der Sehne (A3; diese mittlere Länge ist in den letzten 3 Gruppen etwa 120 mm, bzw. 140 mm in der Gruppe 11). Auch die Signalanhebungslänge (B1) steigt genauso deutlich an. Die Länge der Signalanhebung in der Sagittalen hatte bei Gruppe 8 noch einen Wert von 46 mm und bei Gruppe 9 von 81 mm. Die Signalanhebungslänge stieg von 57 mm auf 76 mm und bei der verstärkten Signalanhebung innerhalb vom STIR-Bild (B4) stieg sie von 23 mm auf 41 mm an. Diese klaren Anstiege der Messwerte lassen sich durch die Ruptur, die in den Gruppen 9, 10 und 11 vorliegt, erklären. Gruppe 8 zeigt zwar deutliche intratendinöse Signale, aber die Sehne als solche ist noch nicht durchtrennt.

Dass bei keinem Patienten eine intratendinöse Ossifikation nachgewiesen werden konnte, liegt vermutlich daran, dass dies im MRT nur sehr selten sichtbar wird (Schweitzer und Karasick 2000).

Im Folgenden wird auf die in der Literatur vorgeschlagenen Einteilungen der

pathologisch veränderten Achillessehnen eingegangen.

Nach Thermann (Thermann 1996) werden im Gegensatz zu Schweitzer und Karasick histologisch vier Typen degenerativer Veränderungen genannt:

- hypoxisch degenerative Tendopathie: geschwollene Mitochondrien mit unregelmäßigen Membranen in Tenozyten und nicht mehr nachweisbaren Cristae, Zellkerne pyknotisch mit hypoxischen Vakuolen, intrazytoplasmatische Kalzifizierungen und Fettvakuolen; longitudinale Auffaserungen der Kollagenfasern
- 2. mukoide Degeneration: einige Kollagenfasern sind schmal, dünn und fragmentiert; zwischen den Fasern sind große Vakuolen, die Granula von Proteo- und Glykosaminoglykanen enthalten. Tenozyten ähnlich verändert wie unter 1. beschrieben und dazu Zytoplasma mit dilatierten Vakuolen und Degranulationen des endoplasmatischen Reticulums
- Tendolipomatosis: Lipozyten zwischen den Kollagenfasern; führt zu Faserunterbrechungen und dadurch wiederum zur Schwächung der Reißkraft
- 4. kalzifizierende Tendopathie: Kalziumdepots zwischen den Kollagenfibrillen, wahrscheinlich Hydroxylapatit.

Der erste dieser vier Punkte entspricht in seinen histologischen Befunden sowohl der "akuten Tendonitis"(II), als auch der "inserierenden Tendonitis"(III) und der "chronischen Tendonosis"(IV) von Schweitzer und Karasicks Einteilung, der zweite Punkt entspricht der "stillen Tendonitis"(V), der dritte entspricht der "spontanen Achillessehnenruptur"(VI) und der vierte entspricht der "inserierenden Tendonitis"(III). Dies ist also widersprüchlich.

Wir haben die 264 Sehnen nach den eindeutig beschriebenen Merkmalen von Schweitzer und Karasick eingeteilt. Da sich diese Aufteilung als mitunter kompliziert und unübersichtlich erwies, möchten wir eine den Erfahrungen dieser Studie nach sinnvolle Vereinfachung vorschlagen.

Es wäre in der Praxis ausreichend, die Gruppen II – IV und VI – VII nach Schweitzer und Karasick zusammenzufassen, so dass mit I und V letztendlich

auch nur vier Gruppen entstehen. Jedoch sind diese anders zusammengesetzt als die vier Typen nach Thermann. Diese von uns vorgeschlagene Einteilung ist für die Praxis ausreichend genau und kann gerade auch einem nicht so erfahrenen Praktiker (nachdem dieser mit der Formel aus der binär-logistischen Regressionsanalyse berechnet hat, ob die Sehne pathologisch verändert ist oder nicht) einen Hinweis darauf geben, wie stark der Grad der Verletzung ist.

Einteilung:

- Die erste Gruppe weist eine intakte Sehnenstruktur auf, nur das peritendinöse Gewebe ist verändert. (I)
- 2. Der zweiten Gruppe sind verdickte Sehnen mit flachem oder ohne flachen bzw. konvexen anterioren Rand, dünne longitudinale Linien, intratendinöse Ossifikationen und Enthesophyten zugeordnet. (II,III,IV)
- 3. Die dritte Gruppe ist durch ein intratendinöses Signal gekennzeichnet, welches auf T2-gewichteten Bildern noch deutlicher wird. (V)
- 4. In der vierten Gruppe werden alle Formen der Rupturen zusammengefasst. (VI/VII)

Von der ersten bis zur vierten Gruppe nimmt der Schweregrad der Verletzung zu.

Unterscheidung von gesunden und pathologisch veränderten Achillessehnen Beurteilung von MRT-Bildern der Achillessehne gibt Überschneidungen zwischen gesunden und pathologisch veränderten Achillessehnen. Damit dieses Problem der Diagnostik in Zukunft leichter zu handhaben ist, wurden in dieser Studie Patienten mit und ohne Beschwerden im Bereich der Achillessehne verglichen. Dazu wurden anatomische Strukturen quantitativ ausgemessen. Nach Orientierung an der Literatur wurden Länge, Breite und Tiefe gemäß verschiedener Definitionen bestimmt. Außerdem wurde die Breite und Tiefe der Bursa subachillea gemessen sowie auch die Fläche des Sehnenguerschnitts berechnet.

Zwischen den Patienten mit und ohne Achillessehnenbeschwerden ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede in der quantitativen Auswertung

sowohl in Bezug auf Tiefe und Länge der Sehne als auch auf die Länge der Bursa subachillea. Des Weiteren wurden Abweichungen bei dem anteroposterioren und medio-lateralen Durchmesser und der sich daraus ergebenden Fläche offenbar (**Tabelle 8**, Seite 21).

Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich eine Formel ableiten, mit deren Hilfe die pathologisch veränderten Sehnen von den gesunden Sehnen unterschieden werden können. Dazu wird die Tiefe in dem sagittalen T1-gewichteten Bild 3 cm oberhalb des Calcaneus (A4), die Länge der Bursa subachillea im STIR-Bild (A5) und die Fläche des Sehnenquerschnitts (F) benötigt. Mit dieser Methode wird eine Sensitivität von 96,5 % und eine Spezifität von 90,8 % erreicht. Zum Vergleich fand sich bei Karjalainen et al. für die Detektion von symptomatischen Achillessehnen im MRT eine Sensitivität von 94 % und eine Spezifität von 81 %.

In unserem Patientenpool haben symptomatische Achillessehnen eine Länge von durchschnittlich 83,22 mm, eine Breite von 17,83 mm und einen anteroposterioren Durchmesser von 10,62 mm. Im Gegensatz dazu wird von Soila et al. die Länge der pathologisch veränderten Sehne mit 52,0 mm, die Breite mit 14,7 mm und der antero-posteriore Durchmesser mit 5,2 mm benannt. Karjalainen et al. nennen als Mittelwert für den antero-posterioren Durchmesser bei symptomatischen Achillessehnen 7,6 mm. Allerdings haben Soila et al. die Länge auf andere Weise gemessen; sie definieren als Anfangs- und Endpunkt die Insertion der Sehne am Calcaneus und das distale Ende des Soleusmuskels. Problematisch hierbei ist, dass die Sehne nicht punktuell inseriert, sondern auf einer Fläche von etwa 10-20 mm. Uns hingegen erschien es praktikabler, die Länge durch zwei fixe Punkte an der Sehne festzulegen, nämlich die Stellen, an denen der Durchmesser jeweils 6 mm beträgt, und die jeweils am weitesten cranial bzw. caudal liegen. Bis zu diesem Wert gilt eine Achilllessehne in der Literatur (Schweitzer und Karasick 2000, Karjalainen et al. 2000) als noch nicht verdickt. Somit können aus dieser Art der Längenmessung gleichzeitig auch Rückschlüsse auf pathologische Veränderungen gezogen werden.

Es gibt auch andere Autoren, die die symptomatischen Achillessehnen im

antero-posterioren Durchmesser nach eigenen Messungen im Mittel für dicker befanden als in der Literatur angegeben (Haims et al. 2000). Wir haben die Tiefe bzw. Dicke der Achillessehne im axialen Querschnittsbild untersucht, so wie auch von Reiter et al. empfohlen. (Reiter et al. 2004) Die Länge der Läsion betrug im T1-gewichteten Bild 5,00 mm beziehungsweise im STIR-Bild 5,30 mm. Demgegenüber finden sich in der Literatur (Karjalainen et al. 2000) Mittelwertangaben von 28 mm, allerdings ohne genauere Angabe dazu, wie gemessen wurde.

Sehnenquerschnittsuntersuchung

Im axialen Querschnittsbild geben Karjalainen et al. an, dass im Mittel 28 % des Querschnitts der Sehne lädiert waren. In unserer Studie sind es 35 %. Dieser geringe Unterschied von 7 % liegt möglicherweise an den unterschiedlichen Untersuchern und deren subjektiver Einschätzung der Größe der lädierten Fläche. Es wurde auf den Querschnittsbildern immer geprüft, ob weniger als 25%, zwischen 25 und 50% oder zwischen 50 und 75 % oder 100% des Querschnitts betroffen waren.

Bursa subachillea

Auch bei den Bursae gibt es in der Literatur unterschiedliche Größenangaben. Karjalainen sagt, dass Bursae, die größer als 11 mm in transversaler Richtung und größer als 7 mm in craniocaudaler Richtung sind, abnormal seien. Dahingegen geben Bottger at al. die Ausdehnung der Bursa mit 1x6x3 mm für asymptomatische und für symptomatische Achillessehnen von 4x9x4 mm an. In dieser Arbeit wiesen die Patienten mit Beschwerden Mittelwerte von 8,3 mm in craniocaudaler und 11,9 mm in mediolateraler Richtung auf und die Patienten ohne Beschwerden 5,3 mm in craniocaudaler Richtung und 12,6 mm in mediolateraler Richtung. Der Richtwert in craniocaudaler Richtung kann also bestätigt werden. Jedoch ist in transversaler Richtung kein Unterschied zwischen Patienten mit und ohne Achillessehnenbeschwerden in dieser Studie festzustellen. Diese Differenzen sind nicht erstaunlich, da in mehreren Studien unterschiedliche Größenangaben für die Bursa subachillea beschrieben werden (Soila et a. 1999, Haims et al. 2000).

Außerdem sind auf vielen MRT-Bildern gar keine Bursae sichtbar. Verdickte Bursae spielen also nur im Zusammenhang mit anderen Parametern (nämlich bei der mittels binär-logistisch Regressionsanalyse ermittelten Formel für die Differenzierung zwischen gesunden und pathologisch veränderten Sehnen; siehe Seite 19) eine Rolle in der Diagnostik von Achillessehnenverletzungen (Harris und Peduto 2006, Bottger et al. 1998).

In unserer Studie wiesen nur 6,3 % eine subachilläre Bursitis auf, bei Karjalainen et al. waren es 19 %. Allerdings sind in letzterer Studie nur 118 Probanden untersucht worden im Vergleich zu 264 in dieser Studie.

Es gibt keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Gruppe mit Beschwerden zwischen den männlichen und weiblichen Patienten und dem linken oder rechten Fuß. In der Literatur wird hingegen eine gehäufte Verletzungsanfälligkeit der linken Achillessehne gegenüber der rechten Sehne beschrieben, jedoch mit der Bemerkung "aus nicht bekannten Gründen" (Ulreich et al. 2002). Diese Aussage kann mit unserer Studie nicht belegt werden. Des Weiteren zeigte sich auch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem Geschlecht und einer Signalanhebung, dem Geschlecht und der Lokalisation der Verletzungen im axialen Querschnitt, dem Geschlecht und dem Fuß, dem Alter und dem Fuß und den MRT-Merkmalen und den gemessenen Strecken.

Peritendinöse Veränderungen

In der Literatur wiesen 69% der Achillessehnen peritendinöse Veränderungen auf. In den meisten Fällen ließ sich mehr als eine Abnormalität im MRT-Bild finden. 68% der Patienten mit intratendinösen Veränderungen hatten auch eine Peritendinitis (Karjalainen et al. 2000).

In unserem Patientenpool wiesen 38,8 % der Patienten mit intratendinösen Veränderungen auch eine Peritendinitis auf. Da in dieser Studie aber 264 pathologisch veränderte Sehnen untersucht wurden im Gegensatz zu der obigen Arbeit, der 118 Probanden als Grundlage dienten, ist der Wert in unserer Studie statistisch fundierter. Die nur sehr geringe Anzahl an Patienten mit einem Markraumödem im Calcaneus von nur 3 % wird auch in der Literatur

Nicht ganz einig sind sich die Autoren in der Literatur über den Begriff Tendinitis bzw. Tendonosis. Einige Autoren (Harris und Peduto 2006, Khan et al. 2002, Kannus und Josza 1991, Astrom und Rausing 1995, Movin et al. 1997, Shalabi et al. 2001, Haims et al. 2000) sagen, es gebe keine Tendinitis, da die klassischen Entzündungszellen normalerweise nicht anwesend sind. Es seien Mikrorisse, die die Pathologie der Achillessehnenbeschwerden verursachen. Laut Schweitzer und Karasick ist Tendonosis der treffendere Ausdruck, da die intratendinöse Degeneration ohne eine nennenswerte Entzündung auftritt. Die Achillessehne ist vor entzündlichen Prozessen geschützt, da sie von keiner echten Synovia umgeben wird. Aber aufgrund der engen Beziehung zur Bursa subachillea kann die Achillessehne sekundär von dortigen Entzündungsprozessen beeinflusst werden. Außerdem ist des Öfteren bei systemischen entzündlichen Prozessen, wie der rheumatoiden Arthritis, eine Entzündung des Paratendon in Form einer Peritendinitis beobachtet worden. Da wir keine mikroskopischen Untersuchungen bezüglich des Vorhandenseins von Entzündungszellen machen konnten, können wir hierzu keine Stellung nehmen. Als Folge einer inserierenden Tendonitis kommt es selten zu Enthesophyten, so genannten Knochenspornen.

Die Kontrastmittelgabe hat bei der Untersuchung der Peritendinitis fast genau die gleiche Prozentzahl an Positiv-Befunden ergeben: in 30,3 % der Fälle ließ sich die Peritendinitis im STIR-gewichteten Bild nachweisen und in 31,7 % der Fälle auch auf den Kontrastmittelaufnahmen. Eventuelle Nekrosehöhlen sind so selten und außerdem für die Diagnosestellung einer Achillessehnenverletzung nicht von Belang, so dass man auf die Kontrastmittelaufnahmen im Allgemeinen verzichten kann. Denn eine pathologisch veränderte Achillessehne lässt sich, wie oben gezeigt, sehr gut durch das Messen und Auswerten bestimmter Strukturen (Formel der Regressionsanalyse) diagnostizieren. Es kann aber durchaus angezeigt sein, bei begründetem Verdacht auf zum Beispiel Nekrosehöhlen doch eine Bildgebung mit Kontrastmittel durchzuführen.

Als Limitation dieser Studie muss sicherlich genannt werden, dass wir keinen histopathologischen Beweis für etwaige Sehnenveränderungen hatten, sondern uns an der Literatur [14] orientierten. Beim Zusammenstellen der Kontrollgruppenpatienten haben wir uns auf vorhandene Patientendaten gestützt (d.h. Datenserien, bei denen die Patienten keine Beschwerden an der Sehne hatten, jedoch aus anderen Gründen am Fuß untersucht wurden), denn das Erstellen eines komplett neuen Patientenkollektivs wäre zu aufwendig und somit nicht realisierbar gewesen.

5. Zusammenfassung

Diese retrospektive Studie ist mit ihrer großen Zahl von 264 Patienten darauf angelegt gewesen, eventuelle Zusammenhänge zwischen einzelnen Messstrecken, dem Alter und Geschlecht der Patienten aufzuzeigen. Hier ließen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisen. Mittels statistischer Analysen konnte jedoch gezeigt werden, dass insbesondere die drei Merkmale Tiefe (A4), Länge (A5), Fläche des Sehnenquerschnitts (F) für die Diskriminierung zwischen pathologisch veränderter und noch gesunder Achillessehne gut geeignet sind. Mit Hilfe der folgenden Formel lässt sich leicht ermitteln, ob eine Sehne pathologisch verändert ist, oder nicht:

R= $-16,805 \cdot A4 - 8,429 \cdot A5 - 8,331 \cdot F + 23,461$

Wenn R > 0,5 ist, ist die untersuchte Sehne gesund und falls R < 0,5 ist, ist die Sehne pathologisch verändert.

Die Verwendung von Kontrastmittel erbringt keinen besonderen diagnostischen Mehrwert, so dass auf die Anwendung in der Diagnostik von Achillessehnen im Allgemeinen verzichtet werden kann.

In Anlehnung an die Literatur wurde eine Einteilung der verschiedenen qualitativen Merkmale im MRT vorgenommen und modifiziert. Die römischen Zahlen sind die Gruppen der klinischen Einteilung von Schweitzer und Karasick. Diese vier Gruppen stellen eine mögliche Einteilung der Achillessehnenverletzungen dar, die für den praktizierenden Arzt in erster Linie einen Anhalt dafür geben kann, wie weit das Stadium der Verletzung schon fortgeschritten ist:

- Gruppe 1: intakte Sehnenstruktur, jedoch verändertes peritendinöses
 Gewebe vorhanden (I)
- Gruppe 2: verdickte Sehnen mit oder ohne flachen bzw. konvexen anterioren Rand, dünne longitudinale Linien, intratendinöse Ossifikationen und Enthesophyten zugeordnet (II,III,IV)
- Gruppe 3: ist durch ein intratendinöses Signal gekennzeichnet, welches auf T2-gewichteten Bildern noch deutlicher wird (V)
- Gruppe 4: alle Formen der Rupturen (VI/VII)

6. Abkürzungen

Abb. = Abbildung

FOV = field of View

JPEG = Joint Photographic Experts Group; Gremium, das diese Norm der Fotokompression entwickelt hat

KM = Kontrastmittel

MRT = Magnetresonanztomographie/-tomograph

NSA = numbers of signal averages

PD = protonengewichtet

RFOV = rectangular field of view

SPIR = Spectral Presaturation with Inversion Recovery

STIR = Short-Tau Inversion Recovery

Tab. = Tabelle

TE = Echozeit

TR = Repetitionszeit

TSE = Turbo-spin-Echo

7. Literatur

- Arndt A N (1997) Entstehung und Auswirkungen asymmetrischer Belastung der menschlichen Achillessehne unter besonderer Berücksichtigung ihrer Morphologie, Sport und Buch Strauß, Köln.
- 2. Aström M, Gentz CF, Nilsson P, Rausing A, Sjöberg S, Westlin N (1996) Imaging in chronic Achilles tendinopathy: a comparison of ultrasonography, magnetic resonance imaging and surgical findings in 27 histologically verified cases, Skeletal Radiol. 25: 615-620.
- 3. Astrom M, Rausing A (1995) Chronic Achilles tendinopathy. A survey of surgical and histopathological findings, Clin Orthop. 316: 151-64.
- 4. Bertolotto M, Perrone R, Martinoli C, Rollandi GA, Patetta R, Derchi LE (1995) High resolution ultrasound anatomy of normal Achilles tendon, Br J Radiol. 68(813): 986-91.
- 5. Bottger BA, Schweitzer ME, El-Noueam K, Desai M (1998) MR imaging of the normal and abnormal retrocalcaneal bursae, AJR. 170: 1239-41.
- 6. Haims AH, Schweitzer ME, Patel RS, Hecht P, Wapner KL (2000) MR imaging of the Achilles tendon: overlap of findings in symptomatic and asymptomatic individuals, Skeletal Radiol. 29: 640-645.
- 7. Harris CA, Peduto AJ (2006) Achilles tendon imaging, Australasian Radiology. 50: 513-525.
- 8. Hess GP, Capiello WL, Poole RM, Hunter SC (1989) Prevention and treatment of overuse tendon injuries, Sports Med. 8: 371-84.
- 9. Kälebo P, Allenmark C, Peterson L, Swärd L. (1992) Diagnostic value of ultrasonography in partial ruptures of the Achilles tendon, Am J Sports Med. 20(4): 378-81.
- 10. Kannus P, Jozsa L (1991) Histopathological changes preceding spontaneous rupture of a tendon. A controlled study of 891 patients, J Bone Joint Surg Am. 73: 1507-25.
- 11. Karjalainen PT, Soila K, Aronen HJ, Pihlajamäki HK, Tynninen O, Paavonen T, Tirman PF J (2000) MR Imaging of Overuse Injuries of the Achilles Tendon, AJR. 175: 251-260.
- 12. Kayabas U, Yetkin F, Firat AK, Ozcan H, Bayindir Y (2008) Ciproflaxacin-Induced Urticaria and Tenosynovitis: A Case Report, Chemotherapy. 54: 288-

290.

- 13. Khan KM, Cook JL, Kannus P, Maffulli N, Bonar SF (2002) Time to abandon the "tendinitis" myth BMJ. 324: 627-628.
- 14. Kong A, Cassumbhoy R, Subramaniam RM (2007) Magnetic resonance imaging of ankle tendons and ligaments: part I anatomy, Australas Radiol. 51 (4): 315-23.
- 15. Kvist M (1994) Achilles Tendon Injuries in Athletes. Sports Medicine, 18 (3): 173-201.
- 16. van der Linden PD, van de Lei J, Nab HW, Knol A, Stricker BH (1999) Achilles tendinitis associated with fluoroquinolones, BR J Clin Pharmacol. 48: 433-437.
- 17. Mantel D, Flautre B, Bastian D, Delforge PM, Delvalle A, Leclet H (1996) Étude structurale du tendon d'Achille en IRM: Corrélation avec la microanatomie et histologie, J Radiol. 77(4): 261-5.
- 18. Marcus DS, Reicher MA, Kellerhouse LE (1989) Achilles Tendon Injuries: The Role of MR Imaging, Journal of Computer Assisted Tomography. 13(3): 480-486.
- 19. Movin T, Gad A, Reinholt FP, Rolf C (1997) Tendon pathology in longstanding achillodynia. Biopsy findings in 40 patients, Acta Orthop Scand. 68: 170-75.
- 20. Neuhold A, Stiskal M, Kainberger F, Schwaighofer B (1992) Degenerative Achilles tendon disease: assessment by magnetic resonance and ultrasonography, European Journal of Radiology. 14: 213-220.
- 21. Paavola M, Kannus P, Järvinen T, Khan K, Jósza L, Järvinen M (2002) Achilles Tendinopathy. J Bone Joint Surg. Am. 84: 2062-2076.
- 22. Reiter M, Ulreich N, Dirisamer A, Tscholakoff D, Bucek RA (2004) Panorama-Ultraschall in der Abklärung symptomatischer Achillessehnenerkrankungen: ein Vergleich zur MRT. Fortschr Röntgenstr. 176:704-708.
- 23. Romaneehsen B, Kreitner K-F (2005) MRT-Bildgebung bei Sehnenerkrankungen, Orthopäde 34:543-549.
- 24. Schweitzer M E, Karasick D (2000) MR Imaging of Disorders of the Achilles Tendon, AJR. 175: 613-625.
- 25. Shalabi A, Kristoffersen-Wiberg M, Aspelin P, Movin T (2001) MR Evaluation of chronic Achilles tendinosis. A longitudinal study of 15 patients preoperatively and two years postoperatively, Acta Radiologica. 42: 269-276.
- 26. Shalabi A, Movin T, Kristoffersen-Wiberg M, Aspelin P, Svensson L (2005)

- Reliability in the assessment of tendon volume and intratendinous signal of the Achilles tendon on MRI: a methodological description, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 13: 492-498.
- 27. Soila K, Karjalainen PT, Aronen HJ, Pihlajamäki HK, Tirman PJ (1999) High Resolution MR Imaging of the Asymptomatic Achilles tendon: New Observations, AJR. 173: 323-328.
- 28. Stoller DW, Ferkel RD, Li AE, Mann RA, Lindauer KR (2007) The Ankle and Foot. In: Magnetic Resonance Imaging in Orthopaedics and Sports Medicine, DW Stoller (Hrg.) 3. Aufl. Vol. 1, Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia [u.a.].
- 29. Thermann H (1996) Die funktionelle Behandlung der frischen Achillessehnenruptur, Springer Verlag, Berlin.
- 30. Ulreich N, Kainberger F, Huber W, Nehrer S (2002) Die Achillessehne im Sport, Radiologe. 42: 811-817.

8 Danksagung

Diese Arbeit wurde unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. med. Christoph Weber in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie durchgeführt. Ihm möchte ich herzlich für die Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten und die Geduld während der wissenschaftlichen Betreuung dieser Arbeit danken.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr. rer. nat. Ralph Buchert für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und bei Frau PD Dr. med. Ulrike Wedegärtner für ihre wissenschaftlichen Ratschläge bedanken.

Der radiologischen Praxis Dr. med. Michael Finkenstaedt und PD Dr. Rainer Maas aus Hamburg gilt der Dank für die zur Verfügung gestellten Patientendaten.

9 Lebenslauf

Name: Lena Christina Maas

Eltern: Dr. Uwe und Marlis Maas

Geburtsort und -datum: Hamburg, 15.2.1981

Schulbildung

1987-1991 Gorch-Fock-Grundschule in Hamburg

1991-1994 Gymnasium Blankenese in Hamburg

1995-2000 Gymnasium Willhöden in Hamburg

1997/1998 Austauschjahr mit "Youth For Understanding" in den

USA

Sep. bis Dez. 2000 Au Pair in Island

Jan. und Feb. 2001 Praktikum bei der Firma Richers in Hamburg

April bis Juni 2001 Französischsprachkurs an der Universität von

Aix-en-Provence

Juli und August 2001 Krankenhauspflegepraktikum

Hochschulausbildung

Okt. 2001 bis Okt. 2003 Studium des Chemieingenieurwesens an der

Universität Karlsruhe (mit bestandenem Vordiplom)

Okt. 2003 bis Okt. 2008 Studium der Zahnmedizin an der Universität Rostock

Jan. und Feb. 2009 ehrenamtliche Arbeit in der Clinica Misional "Nuestra

Señora de Guadalupe" in Ecuador

Berufliche Tätigkeit

1.6.2009 bis 15.7.2010 Assistenzzahnärztin in einer Praxis in Karlsruhe

ab 15.8.2010 Assistenzzahnärztin in einer Praxis in Passau

10 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig 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 anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Unterschrift: