

**Aus der
Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik (Department)
Tübingen
Abteilung Innere Medizin V Sportmedizin
(Schwerpunkte: Leistungsmedizin, spezielle Prävention, spezielle
Rehabilitation)
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. A. Nieß**

**Vibrationstraining vs. Exzentrisches Training zur
Behandlung von chronischen Achillessehnenbeschwerden
bei Freizeitsportlern**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Holger Matthias Jud

aus

Bad Urach

2009

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter:

Professor Dr. T. Horstmann

2. Berichterstatter:

Professor Dr. K. Weise

Meinen Eltern mit großem Dank gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	Seite	1
1.1	Theoretische Grundlagen		2
1.1.1	Die gesunde Achillessehne		2
1.1.1.1	Funktion und Biomechanik		2
1.1.1.2	Anatomie		3
1.1.1.3	Histologie		3
1.1.2	Achillestendinopathie		3
1.1.2.1	Nomenklatur		3
1.1.2.2	Histopathologie und Pathophysiologie der AT		4
1.1.2.3	Ätiologie der AT		5
1.1.2.4	Diagnostik der AT		6
1.1.2.5	Therapie der AT mit Exzentrischem Training (ET)		7
1.1.3	Vibrationstraining (VT)		8
1.1.3.1	Historische Entwicklung des VT		8
1.1.3.2	VT heute		8
1.1.3.3	Mögliche Wirkmechanismen des VT		9
1.1.3.4	VT auf dem Galileo		10
1.1.3.5	Effekte und Anwendungsgebiete des VT		11
1.1.3.6	Achillestendinopathie und VT		12
1.1.3.7	Potentielle Nebenwirkungen und Kontraindikationen für VT		12
1.1.4	Messen des Therapieerfolgs bei AT		13
1.2	Fragestellung und Ziele dieser Arbeit		13
1.3	Hypothesenbildung		14
1.3.1	VAS- Schmerzfragebogen [mm]		14

1.3.2	Palpation der Achillessehne, VAS [mm]	15
1.3.3	Sonografischer Befund	15
1.3.4	Isokinetische Kraftmessung, Drehmoment [Nm]	15
1.3.5	Befragung zu den Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme	16
2	Patienten und Methoden	17
2.1	Untersuchungsdesign	17
2.2	Untersuchungsablauf und Messverfahren	17
2.2.1	Persönliche Datenerhebung	19
2.2.2	Biometrische Datenerhebung	20
2.2.3	Anamnestische Datenerhebung	20
2.2.4	Orthopädische Untersuchung	21
2.2.5	Befragung zum Schmerzempfinden	22
2.2.6	VAS- Schmerzfragebogen	22
2.2.7	Palpationsschmerz (VAS)	23
2.2.8	Sonografischer Befund	24
2.2.9	Isokinetik	25
2.2.9.1	Gerätebeschreibung	25
2.2.9.2	Untersuchungsablauf	25
2.3	Patientengut	28
2.3.1	Probandenauswahl	28
2.3.2	Probanden- und Gruppenbeschreibung	30
2.4	Trainingsmethoden und –durchführung	30
2.4.1	Vibrationstraining (VT)	31
2.4.1.1	Gerätebeschreibung	31
2.4.1.2	Trainingsablauf	32

2.4.2	Exzentrisches Training (ET)	35
2.4.3	„Wait- and- See“- Gruppe	37
2.5	Statistische Datenverarbeitung	37
2.5.1	Datengewinnung	37
2.5.2	Datendarstellung	38
2.5.3	Tests	39
2.5.4	Multiple Beiträge eines Probanden	40
2.5.5	Zur Bedeutung des p- Wertes	41
2.6	Ethik- Kommission	41
3	Ergebnisse	42
3.1	Ergebnisse der prä- und posttherapeutischen Datenerhebung	42
3.1.1	VAS- Schmerzfragebogen	42
3.1.1.1	Erholung	42
3.1.1.2	Familiäres Zusammenleben	43
3.1.1.3	Lauftraining	44
3.1.1.4	Sonstige sportliche Aktivitäten	46
3.1.1.5	Soziale Aktivitäten	47
3.1.2	Palpationsschmerz	49
3.1.2.1	Ossäre Insertion	49
3.1.2.2	Sehnenmitte	50
3.1.2.3	Tendo- muskulärer Übergang	53
3.1.3	Ultraschallmessung	57
3.1.3.1	Inhomogenitäten am Sehnenansatz	57
3.1.3.2	Inhomogenitäten im Sehnenverlauf	57
3.1.3.3	Verdickung	58
3.1.3.4	Bursitis	59

3.1.3.5	Paratendinose	59
3.1.3.6	Tendinitis	60
3.1.3.7	Verkalkung	61
3.1.4	Isokinetische Messung	62
3.1.4.1	Exzentrische Plantarflexion bei 20°/Sekunde	62
3.1.4.2	Konzentrische Plantarflexion 60°/Sekunde	63
3.1.4.3	Range of motion (ROM) – Flexibilitätsmessung	64
3.1.4.4	Konzentrische Dorsalflexion 60°/Sekunde	65
3.2	Ergebnisse der posttherapeutischen Datenerhebung	66
3.2.1	Trainings- Compliance	66
3.2.2	Befragung zu den Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme	67
3.3	Ergebnisse der prätherapeutischen Datenerhebung	68
3.3.1	Anamnese	68
3.3.1.1	Schmerz	68
3.3.1.2	Therapie	69
3.3.1.3	Training	70
3.3.2	Orthopädische Untersuchung	71
3.3.2.1	Beinachse	71
3.3.2.2	Rückfußachse	71
3.3.2.3	Beckenschiefstand und Beinlängendifferenz	72
3.3.2.4	Fußform	74
3.3.2.5	ROM Oberes (OSG) und Unteres Sprunggelenk (USG)	75
3.3.2.6	Talusvorschub	76
3.3.2.7	Valguskorrektur	76
3.3.2.8	Zehenspitzenstand	77

4	Diskussion	78
4.1	Trainingsmethoden	78
4.1.1	Exzentrisches Training	78
4.1.2	Vibrations Training	79
4.2	Prä- und posttherapeutisch erhobene Daten	80
4.2.1	VAS- Schmerzfragebogen	80
4.2.1.1	Allgemeines	80
4.2.1.2	Lauftraining und sportliche Aktivitäten	82
4.2.1.3	Erholung, familiäres Zusammenleben und soziale Aktivitäten	84
4.2.2	Palpationsschmerz	84
4.2.3	Ultraschallmessung	88
4.2.4	Isokinetische Messung	92
4.2.4.1	Exzentrische Plantarflexion 20°/Sekunde	92
4.2.4.2	Konzentrische Plantarflexion 60°/Sekunde	95
4.2.4.3	Range of motion (ROM) – passive Dorsalflexion [Nm]	97
4.2.4.4	Konzentrische Dorsalflexion 60°/Sekunde	98
4.3	Posttherapeutisch erhobene Daten	99
4.3.1	Befragung zu den Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme	99
4.3.2	Trainings- Compliance	100
4.4	Prätherapeutisch erhobene Daten	101
4.4.1	Anamnese	101
4.4.2	Orthopädische Untersuchung	102
4.5	Schlussfolgerungen und Ausblick	105
5	Zusammenfassung	107

6	Literaturverzeichnis	109
----------	-----------------------------	------------

Danksagung

Curriculum Vitae

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse
AT	Achillestendinopathie
BMI	Body Mass Index
CRF	Case Report Form = Dokumentationsbogen
dPRT	passiver Drehmomentwiderstand
EMG	Elektromyographie
ESWT	Extrakorporale Stosswellentherapie
ET	Exzentrisches Krafttraining
GKS	Ganzkörperschwingungen
MRT	Magnetresonanztomographie
MTS	Monitor- Tragarm- System
Mw.	Mittelwert
N.S.	nicht signifikant
NSAR	Nicht Steroidale Anti Rheumatika
OSG	Oberes Sprunggelenk
Pos.	Positiv
PTmax	maximales Drehmoment
ROM	Range Of Motion = Bewegungsumfang
St.abw.	Standardabweichung
TE	Trainingseinheit(en)
TKS	Teilkörperschwingungen
US	Ultraschall
USG	Unteres Sprunggelenk
VAS	Visuelle Analog Skala
VT	Vibrationstraining
WAS	“Wait- and- see”
WBV	“Whole Body Vibration” = Ganzkörperschwingung(en)
Zp.	Zeitpunkt

1 Einleitung

Chronische Achillessehnenbeschwerden bzw. Achillestendinopathien treten häufig sowohl bei sportlich aktiven Personen als auch in sportlich inaktiven Bevölkerungsgruppen auf [64, 107]. Hierunter versteht man die klinischen Verhältnisse der Achillessehne, die durch Schmerzen, Schwellung, verändertes Abrollverhalten und Leistungseinschränkung entstehen [71]. Die meisten Schäden der Achillessehne treten im Freizeitsport im mittleren Lebensalter, zwischen 35 und 45 Jahren auf [6]. Männer sind häufiger als Frauen betroffen [64, 72].

Als Therapieoption besteht eine Vielfalt an konservativen Interventionen, die oft in Kombination angewendet werden, da kein Goldstandard festgelegt ist. Beispiele hierfür sind orthopädische Einlagenversorgung, lokale und systemische antientzündliche Medikation wie NSAR oder Cortison, topische Glyceryltrinitrate, Stretching, Massage, Elektrotherapie, therapeutischer Ultraschall, ESWT und Exzentrisches Krafttraining, um nur Einige zu nennen [9]. Die Behandlung stellt sowohl für den Arzt als auch für den Patient eine oft langwierige therapeutische Herausforderung dar. In ca. 25 % der Fälle bleibt eine konservative Therapie ohne Erfolg [92]. In diesem Falle können chirurgische Interventionen diskutiert werden, die häufig komplikationsreich sind und einen langen Genesungsprozess erfordern [2, 91].

Sport und Bewegung rücken im Sinne einer gesundheitsfördernden bzw. krankheitspräventiven Maßnahme immer mehr in den medienpolitischen Vordergrund und in das Bewusstsein der Menschen. Die vermehrte Bewegungsausübung führt zu einer erhöhten Inzidenz von Sehnenverletzungen. Angesichts knapper werdender Ressourcen im Gesundheitssystem ist Grundlagen- und klinische Forschung und damit die Suche nach einer kostengünstigen Therapie unbedingt nötig.

Gegenstand aktueller Studien zu Muskelkraft- und Leistungssteigerung ist die *Vibrationsplatte von Galileo™(Novotec)*. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurde noch

nicht untersucht, ob Vibrationstraining (VT) als neue Therapieoption auch bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden anwendbar ist.

(Literaturrecherche in Pubmed, Medline).

Das *exzentrische Muskelkrafttraining* (ET) als konservative Therapieform erzielte gute klinischen Resultate und reduzierte die Wahrscheinlichkeit für eine chirurgische Intervention [6, 111].

In unserer Studie soll das *Vibrationstraining* (VT) auf der *Vibrationsplatte von Galileo* mit dem *exzentrischen Muskelkrafttraining* (ET) und einer „*Wait- and-see*“ (WAS)- Strategie bezüglich des Therapieerfolgs verglichen werden.

Ziel der Studie war es, mit dem VT eine für Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden zeitsparendere und insgesamt erfolgreichere Therapieform als bisher zu etablieren.

1.1 Theoretische Grundlagen

Im theoretischen Teil dieser Arbeit sollen die für die Untersuchungs- und Trainingsmethoden relevanten Themenbereiche anhand der Literaturanalyse genau dargestellt werden. Anhand dieser Grundlagen werden die Fragestellung und Ziele der Studie (Kapitel 1.2) präzisiert, sowie die zu prüfenden Hypothesen generiert (Kapitel 1.3).

1.1.1 Die gesunde Achillessehne

1.1.1.1 Funktion und Biomechanik

Die Achillessehne ist die dickste und stärkste Sehne des Menschen und zwischen Musculus Triceps Surae und Calcaneus lokalisiert. Sie transmittiert Bewegungsenergie und ermöglicht die Plantarflexion bzw. Inversion des Fußes [85, 109]. Beim Jogging ist sie Kräften bis zu 9000 N ausgesetzt, was in etwa dem 12, 5 fachen des Körpergewichtes entspricht [63]. Mikroskopisch sichtbare Schäden treten auf, wenn die Sehne mehr als 4 % gedehnt wird. Ab 8 % sind diese auch makroskopisch sichtbar [85].

1.1.1.2 Anatomie

Die Achillessehne entspringt breitflächig am hinteren proximalen Anteil des Ferseubeins, verläuft etwas dünner werdend nach oben, hat ihre dünnste Stelle ca. 2-5 cm proximal des Ursprungs und geht nach ca. 12-15 cm in den Gastrocnemius- bzw. den Soleus- Muskel über. Diese setzen an der distalen hinteren Femur- bzw. proximalen hinteren Tibiafläche an [109]. Die Sehne ist von einer Synovialhülle, der Paratenon umgeben, welche aus zwei Lagen besteht. Die tiefere Schicht steht in direktem Kontakt mit der Sehne, der sogenannten Epitenon. Eine superfizielle Schicht, die sogenannte Peritenon, grenzt den paratenonalen Raum nach außen ab [50].

1.1.1.3 Histologie

Die Achillessehne besteht zu 90 – 95 % aus Tenozyten und –blasten. Die Extrazellulärmatrix setzt sich vor allem aus Typ- I- Kollagen, sowie aus Proteoglykanen und Elastin als Grundsubstanz zusammen [57, 110]. Gefäße sind in allen Bereichen der Achillessehne spärlich vorhanden [1]. Anhand immunhistochemischer Versuche an gesunden Sehnen wurde nachgewiesen, dass die Gefäßdichte im Bereich der Sehnentaille signifikant geringer ist als im proximalen und distalen Anteil [95]. Die Sehne wird von Haut-, Muskeln- und peritendinösen Nerven innerviert. Unmyelinisierte Nervenendigungen fungieren als Schmerzrezeptoren [110].

Im Gegensatz zu früheren Annahmen konnte gezeigt werden, dass Sehnen ein metabolisch sehr aktives Gewebe sind. Sie reagieren auf körperliche Belastungen mit Anpassungserscheinungen wie vermehrter Produktion von Extrazellulärmatrix und der Induktion von Gefäß- und Nervenwachstum [61].

1.1.2 Achillestendinopathie

1.1.2.1 Nomenklatur

„AT“ ist als Übergriff zu verstehen, der die klinischen Verhältnisse auf Grund von Überlastungsschäden der Sehne, der Paratenon und der Bursa subachillea subsumiert. Histologisch kann es sich um entzündliche (-itis) oder degenerative

(-osis) Prozesse handeln [14, 55]. Differenziert werden die Höhenlokalisationen der Beschwerden: Etwa zwei Drittel aller Achillessehnenbeschwerden treten 2-6cm proximal vom Ansatz („Sehnenmitte“) auf. Ein Viertel aller Patienten klagt über Schmerzen im Bereich des Sehnenansatzes [47, 64]. Klinisch müssen per WHO-Definition akute von chronischen Beschwerden (>6 Monate) unterschieden werden.

1.1.2.2 Histopathologie und Pathophysiologie der AT

„*Tendinosis*“ beschreibt die Degeneration der Sehne [55, 98]. Histologisch stellt sich diese als Kollagendegradation innerhalb der Sehne dar, bei der die physiologische parallele Anordnung der Kollagenfasern aufgehoben ist [14]. Diese Morphologien sind auch mit zunehmendem Alter nachweisbar [118]. Zusätzlich zur degenerativen Komponente kann eine Hyperzellularität sowie vermehrtes Gefäßwachstum hinzu kommen [64, 66]. Im US kann die Degeneration sichtbar gemacht werden [15].

„*Tendinitis*“ beschreibt entzündliche Verhältnisse der Sehne, die mit den typischen zellulären Reaktionen einhergeht und im Rahmen einer primären Tendinosis auftreten kann [50, 57, 72]. „Tendinose“ und „Tendinitis“ beschreiben histologische Gegebenheiten, die im klinischen Alltag nicht zu erheben sind. Die Diagnose „AT“ wird anhand klinischer Untersuchung, US und gegebenenfalls MRT gestellt. Neue Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass es sich bei der AT viel mehr um einen degenerativen als um einen inflammatorischen Prozess der Sehne handelt [56].

Die „*Paratendinopathie*“ beschreibt pathologische Veränderungen der Paratendon, die entzündlicher und/oder degenerativer Natur sein können. In frühen Stadien einer Tendinosis kann diese hinzukommen und sollte in der Therapie berücksichtigt werden [6, 14, 55].

In symptomatischen Sehnen ist die *Angiogenese* vermehrt, welche positiv mit der Schmerzentstehung korreliert [95]. Die Durchblutung in veränderten Sehnen ist im Vergleich zu gesunden Sehnen somit erhöht [13, 95]. In der Power Dopp-

ler Sonographie können die vermehrten Gefäße sichtbar gemacht werden [86]. Durch Sklerosierung dieser Gefäße kann eine Schmerzreduzierung herbeiführt werden [87].

Eine andere Theorie der Schmerzentstehung betrifft die *Nervenversorgung* der Achillessehne. Bei Probanden mit chronischen Achillessehnenbeschwerden wurden erhöhte intratendinäre Konzentrationen an Glutamat und Substanz P gefunden, die als Neurotransmitter Schmerzen vermitteln. Erhöhte PGE2- Titer, als Zeichen der Inflammation wurde hingegen nicht gefunden [5]. Andere Studien konnten nachweisen, dass Gefäße mit vermehrter Nervenversorgung vergesellschaftet sind und somit ein Zusammenhang zwischen Schmerzentstehung und Blut- bzw. Nervenversorgung besteht [7].

1.1.2.3 Ätiologie der AT

Die Ätiologie und Pathogenese der AT ist multifaktoriell bedingt und in wissenschaftlicher Hinsicht noch nicht vollständig geklärt. Extrinsische werden von intrinsischen Einflussfaktoren unterschieden, die ein Auftreten von chronischen Achillessehnenbeschwerden begünstigen.

Als *intrinsische Faktoren* spielen neben genetischen, metabolischen und endokrinen Faktoren das Alter, Geschlecht, Körpergewicht und -größe (BMI), Orthopädische Fehlstellungen der Beinachse, Gastrocnemius- bzw. Soleusmuskeldysfunktion oder Flexibilitätseinschränkungen der Wadenmuskulatur eine Rolle in der Entstehung der AT [64]. *Flexibilitäts- und Kraftminderung* der Wadenmuskulatur inklusive Achillessehne nehmen mit dem Alter zu [38]. Laufsportlern mit AT konnte ein signifikant reduzierter Bewegungsumfang (ROM) des oberen Sprunggelenks bei gleichzeitig erniedrigtem exzentrischem Kraftmoment der Wadenmuskulatur in der isokinetischen Kraftmessung nachgewiesen werden. Bei Läufern ohne AT waren diese Befunde nicht zu erheben [42]. Stretchingübungen der Wadenmuskulatur wurden daher als Präventions- und Therapiemethode der Wahl über Jahre hinweg empfohlen.

Extrinsische Faktoren sind u.a. bestehende Verletzungen, ungeeignetes Schuhwerk oder umweltbezogene Faktoren wie Training auf hartem Untergrund und Umfangssteigerungen im Training [10, 47, 51, 64].

Exzessive *Überbelastung* der Sehne wird als die Hauptursache der AT diskutiert. Die Sehne reagiert auf repetitive Überlastungen über der physiologischen Belastungsschwelle mit intratendinären degenerativen Prozessen, seltener mit einer Inflammation des Paratenon oder einer Kombination beider [10, 51]. Biomechanische Studien hinterfragten diese Theorie. In Abhängigkeit der Sprunggelenksstellung weist die Achillessehne bei Ansatz-tendinopathie keine Über-, sondern eine „Unterbelastung“ im Sinne einer ungleichen Lastenverteilung auf [75].

1.1.2.4 Diagnostik der AT

Die Erhebung des klinischen Befundes spielt eine Schlüsselrolle in der Diagnose und Therapie von chronischen Achillessehnenbeschwerden [50, 57, 107]. AT ist eine klinische Diagnose für ein klinisches Syndrom, bestehend aus einer Kombination aus Schmerz, Schwellung und Leistungsminderung der Achillessehne [71]. Diese Symptome sind durch Erhebung der Anamnese, des klinischen Befundes und ggf. Bildgebung von dem untersuchenden Arzt zu diagnostizieren. Differentialdiagnosen, wie zum Beispiel Achillessehnenrupturen, können ausgeschlossen werden und durch die Examination wegweisende Schritte in Richtung adäquater Therapie eingeleitet werden.

Wird die *Anamnese* eines Patienten mit AT erhoben, geben diese oft Schmerzen als Kardinalsymptom an [57, 107]. Typischerweise treten diese in den frühen Morgenstunden bzw. sofort nach dem Aufstehen auf. Der Schweregrad und die zeitliche Länge der Morgensteifheit korrelieren mit der Schwere der Krankheit. Änderungen der Bewegungsgewohnheiten sind ebenfalls zu erfragen, da sie Auslöser der Schmerzen sein können [25].

Die *Klinische Untersuchung* sollte Inspektion und Palpation der Achillessehne beinhalten. Inspektorisch können Atrophie, Schwellung oder Rötung der Sehne diagnostiziert werden [57, 107]. Fehlstellungen, Asymmetrien, Deformitäten,

Haglund Exostosen oder Narben sind wichtige Nebenbefunde. Durch die Palpation kann über eine Schwellung, Überwärmung und der Stelle des größten Schmerzens die Lokalisation der AT festgestellt werden. Diese wird meist 3- 5 cm proximal der Insertion angegeben, weniger häufig an dem Sehnenansatz am Fersenbein [25, 57].

Bildgebende Verfahren wie MRT oder US können die Diagnose stützen. Beide Verfahren haben eine ähnliche Sensitivität und Spezifität und ergänzen sich [15, 21]. Ultraschall steht als kostengünstige, schnell zugängliche Eingangsdagnostik jedoch meist an erster Stelle. Anhand dieses Verfahrens lassen sich Aussagen hinsichtlich Ausdehnung, Flüssigkeitseinlagerungen und Teilrupturen der Sehne machen. Pathologisch veränderte Sehnen zeigen oft eine Zunahme des Sehnedurchmessers, Kollagenfaserunterbrechungen oder Schwellungen der Hülle. Im Ultraschallbild stellen sich diese als hypoechogene Areale dar [39].

1.1.2.5 Therapie der AT mit Exzentrischem Training (ET)

Die Behandlungsmöglichkeiten einer AT sind vielfältig (s.Kap.1). Hier soll nur das ET thematisiert werden, da es bereits mehrfach gute klinische Ergebnisse erzielte und in unserer Studie Anwendung findet.

Das ET geht ursprünglich auf *Stanish et al.* zurück und postuliert, dass die Ursache von Tendinopathien eine Überlastung der Sehne durch exzentrische Bewegungen ist [115]. Die höchsten Spannungen in der Sehne treten tatsächlich bei exzentrischen Bewegungen auf. Bei einer exzentrischen Kontraktion wird der Muskel gegen einen isometrischen Widerstand gedehnt, wobei hierdurch die größten Kräfte zu generieren sind [79]. Durch ET sollen Adaptionen der Sehne an erhöhte Belastungen induziert werden. Die Schwelle für mechanische Kräfte, die im Alltag oder Sport auftreten können, soll hoch gesetzt werden, so dass die Sehne unempfindlich für diese exzentrische Belastungen wird [115]. Spätere Studien griffen das Trainingsprogramm von *Stanish et al.* auf, um es für Patienten mit AT zu modifizieren. Diese konnten überzeugende klinische Ergebnisse erzielen. Bei Patienten mit AT, welche ET erhalten

haben, konnte neben einem Kraftzuwachs der Wadenmuskulatur eine Schmerzreduktion und eine Flexibilitätssteigerung der musklotendinären Einheit erreicht werden [3, 6, 111].

1.1.3 Vibrationstraining (VT)

1.1.3.1 Historische Entwicklung des VT

Der Einsatz von Vibrationen als therapeutische Maßnahme ist nicht neu. Diese wurden schon Ende des 19. Jahrhunderts eingesetzt, um Schmerzzustände zu behandeln [40]. An physiologischen Instituten wurden Untersuchungen zu Vibrationen und ihrer Wirkungsweise am Menschen durchgeführt, deren Ergebnisse jedoch nicht in die breite Öffentlichkeit gelangten. Im Jahre 1978 wurde die Anwendung in der medizinischen Therapie durch Nazarov wieder entdeckt. Er nannte es Biomechanische Muskelstimulation (BMS) [81]. Astronauten wurden mit BMS auf ihren Aufenthalt im All vorbereitet. Im Leistungssport bekam es eine neue Bedeutung zur Leistungssteigerung. Das Interesse und die Anzahl der Publikationen zu diesem Thema hatten von da an stark zugenommen. Die Technik, die den neuen Vibrationsgeräten zugrunde liegt, wurde von vielen Anbietern kopiert, leicht variiert und unter einem anderen Namen publiziert. Beispiele hierfür sind „Rhythmisch Neuromuskuläre Stimulation“ (RNS), Neuromechanische Stimulation (NMS) oder „Whole Body Vibration“ (WBV).

1.1.3.2 VT heute

Heute unterscheidet man grundsätzlich zwei verschiedenen Möglichkeiten Vibrationen zu applizieren. Zum einen ist es möglich die Vibrationen als Teilkörperschwingungen (TKS), zum Beispiel über die Hand einwirken zu lassen. Zum anderen stehen Vibrationsplattformen zur Verfügung, die aufgrund der Lokalisation der Vibrationsquelle – die Patienten stehen auf der Vibrationsplatte – Vibrationen als Ganzkörperschwingung (WBV) auf den Körper einleiten [23, 70]. Zwischen den verschiedenen Anbietern von Vibrationsplattformen, zum Beispiel Galileo™ oder PowerPlate®, gibt es Unterschiede bezüglich der Amplituden- und Frequenzeinleitung der Vibrationen.

1.1.3.3 Mögliche Wirkmechanismen des VT

Allen Vibrationsplatten gemeinsam sind die möglichen Wirkmechanismen der mechanischen Schwingungen im menschlichen Körper. In Studien zu Leistungsoptimierung im Sport oder der Anwendung im medizinisch-therapeutischen Bereich wurden diese untersucht.

Vibrationen sind mechanische Oszillationen, welche durch Frequenz [Hz], Amplitude [mm] und Beschleunigung [m/s^2] definiert sind [22].

Werden diese dem Muskel oder der Sehne appliziert, so kann dies eine reflektorische Muskelkontraktion (engl.: „Tonic Vibration Reflex“) auslösen. Diese kommt dadurch zustande, dass Muskelspindeln aktiviert werden und eine Längenänderung bewirken. Über Ia- Afferenzen werden die Signale auf Rückenmarksebene geleitet und dort polysynaptisch verschaltet. Alpha- Motoneurone erregen die betroffenen Muskeln exzitatorisch und es kommt zu einer Kontraktion. Die Kontraktion führt wiederum zu einer Spannungsänderung in der Muskelfaser, welche im Golgi- Sehnenorgan detektiert wird. Über Ib- Afferenzen sendet dieses via Rückenmark dem ZNS Informationen über Spannungszustand der Extremitätenmuskulatur zu. Alpha- Motoneurone steuern Agonisten bzw. Antagonisten an und verhindern eine Überschreitung des Spannungssollwertes. Vibrationen sollen die Golgi- Organe hemmen, was in einer Muskelentspannung bzw. Flexibilitätssteigerung der muskulotendinären Einheit resultiert [22, 49, 102].

Die Effekte der neuromuskulären Leistungssteigerung führen die Wissenschaftler auf eine gesteigerte Synchronisation von motorischen Einheiten am Muskel zurück [19].

Klassisches Krafttraining strebt einen Kraft- und Muskelzuwachs an, welcher eine Atrophie der Muskeln, wie zum Beispiel nach einem Aufenthalt im Weltall, verhindern soll. VT versucht sich diesen Wirkmechanismus zu Eigen zu machen. Während des VT tritt ein Vielfaches der Gravitationskraft auf. Dies wird durch die hohen Beschleunigungen der Vibrationsplattform erreicht und für den Kraftzuwachs verantwortlich gemacht [19].

1.1.3.4 VT auf dem Galileo

In Galileo Vibrationsplattformen ist im Gegensatz zu anderen Herstellern die Vibrationsplatte auf einer Achse gelagert ist, welche sagittal zur Körpermitte verläuft. Mit dem Prinzip einer Wippe bewegt sich die Platte seitenalternierend auf und ab und stößt abwechselnd das linke und rechte Bein nach oben. Agonisten und Antagonisten sollen im Wechsel aktiviert bzw. reflektorisch kontrahiert werden. Physiologische Bewegungsketten bzw. natürliche Bewegungsmuster, wie beim Gehen oder Laufen, sollen nachgeahmt werden. Vibrationen werden von der Platte in die Füße und von dort in den ganzen Körper eingeleitet („Ganzkörperschwingung“ = „wbv“). Indirekt sollen die Vibrationen auf alle Gewebe, wie Skelett oder innere Organe, übertragen werden [106].

Je nach Charakteristik der Vibration (Frequenz, Amplitude, Applikation) und dem Übungsprotokoll (Übungstyp, -intensität, -umfang, -anzahl, Wiederholungen, Trainingsdauer, Pausen und Körperhaltung) ergeben sich unterschiedliche Effekte am Muskel [45, 49, 70].

Frequenzen zwischen 5 und 15 Hz haben einen „lockernden“ Effekt auf die Muskulatur, erhöhen die Flexibilität und wirken schmerzlindernd. Bei Frequenzen zwischen 20 und 30 Hz wird die Leistungsfähigkeit der Muskeln gesteigert. Der muskuläre Zustand entspricht einem Dauertonus. Frequenzen dazwischen induzieren Effekte aus beiden Bereichen [106].

Der *Körperhaltung* während des VT wird erhebliche Bedeutung zugeschrieben, um Schäden zu vermeiden. Durch eine halbgehockte Position auf der Vibrationsplatte mit gebeugten Knien und aufrechtem Oberkörper werden Transmission der Vibrationen bis zum Kopf und eine Stauchung der Knie vermieden [17, 18].

Durch die Positionierung der Füße des Probanden auf der Platte kann die *Amplitude* der Vibrationen gesteuert werden. Je geringer die Entfernung zwischen Malleolus medialis links und Malleolus medialis rechts, desto geringer die Amplitude, et vice versa [106].

1.1.3.5 Effekte und Anwendungsgebiete des VT

Die Anwendungsgebiete haben sich in rascher Zeitfolge ausgeweitet und erreichen viele Bereiche der angewandten Medizin, z.B. Neurologie, Dermatologie oder Geriatrie. Von der „Life- Style- Industrie“ entdeckt, zog das VT in die Fitnessstudios und Haushalte ein. Diese verspricht den Menschen Gewichtsreduktion und raschen Muskelaufbau ohne merklichen zeitlichen und körperlichen Aufwand, was sich jedoch der wissenschaftlichen Grundlage entzieht [44].

Grundsätzlich werden unmittelbare von mittelbaren bzw. Langzeiteffekten unterschieden.

Zu den *kurzfristigen Anpassungserscheinungen* zählt die leistungsoptimierende Wirkung im Bereich der Muskulatur. Hierbei kann man wiederum Effekte, die während der Applikation auftreten, von akut- residuellen Effekten, die sofort nach der Applikation auftreten, unterscheiden. Bestimmt werden diese durch EMG- Aktivität, in der Kraftmessung (isometrisch, dynamisch) oder durch Messung der Sprungkraft [45, 49, 70].

Gesteigerte Hormonausschüttungen von GH und Testosteron und erniedrigte Level von Cortisol lassen sich nachweisen. Ob ein Zusammenhang zwischen veränderten Hormonprofilen und neuromuskulärer Leistungssteigerung besteht, ist unklar [20].

Anpassungserscheinungen lassen sich auch im Bereich der kleinen Gefäße der Muskulatur nachweisen. Aufgrund des erhöhten Energiebedarfs während des VT verringert sich der Widerstand der peripheren Gefäße, um somit die Muskulatur lokal besser mit Nährstoffen versorgen zu können [54, 101].

Zu Änderungen in der Flexibilität und Sprungkraft der unteren Extremität finden sich widersprüchliche Ergebnisse [24, 31, 60, 108].

Langfristige strukturelle Effekte entstehen aufgrund der Akkumulation von akuten Effekten und betreffen das muskuläre, skelettale und vaskuläre System.

Eine Steigerung isometrischer und dynamischer Beinkraft durch VT wurde nachgewiesen [26, 27, 31, 94, 102]. Vor allem bei Frauen und älteren untrai-

nierten Menschen kommt es zu diesem Effekt. Zwei- bis fünfmaliges Training pro Woche über einen Zeitraum von 11 Wochen verspricht die besten Ergebnisse [100]. Langfristig ändert sich auch die Flexibilität und Sprungkraft der unteren Extremität [27, 31, 108]. Neu erschienene Reviews stellen diese Ergebnisse aufgrund methodischer Defizite in Frage [84, 100].

Durch niederfrequente und hochamplitudige Vibrationen kann die Knochendichte erhöht werden [105, 119]. Anwendung könnte dies in der Osteoporoseprävention finden.

Bei neurologischen Erkrankungen wie Morbus Parkinson wurde eine Verbesserung der Haltungskontrolle festgestellt [41].

1.1.3.6 Achillestendinopathie und VT

VT als mögliches Therapeutikum wurde bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden noch nie eingesetzt. Die Voraussetzungen zur Durchführung der Studie und der Stand der Wissenschaft zu VT und AT wurden im Einzelnen in Kapitel 1 präsentiert.

1.1.3.7 Potentielle Nebenwirkungen und Kontraindikationen für VT

Erwähnt werden sollte der potentiell schädigende Einfluss von WBV auf den Körper, wie sie beispielsweise in der Metallindustrie vorkommen [49]. Eine gewöhnliche 10` Einheit WBV entspricht einem Stimulus, der weit über den EU-Richtlinien für Arbeitnehmer liegt [23]. Die Kontraindikationen für das WBV sind mit in die Ausschlusskriterien eingearbeitet (s. Kapitel 2.3.1). Vom Hersteller werden mögliche Nebenwirkungen des WBV genannt: Blasenbildung an Kontaktstellen durch Reibung, Prothesenlockerung, Juckreiz in den trainierten Körperregionen durch die verstärkte Durchblutung, Schwindel und Übelkeit durch Transmission der Vibrationen in den Kopf, rascher Blutdruckabfall oder Unterzuckerung bei Diabetes. Nebenwirkungen sind Anzeichen für zu hohe Trainingsintensität, zu lange Trainingsdauer oder unsachgemäßer Anwendung des VT. Durch regelmäßige Übungseinheiten mit entsprechend langsamer Intensitätssteigerung können diese verhindert werden [18].

1.1.4 Messen des Therapieerfolgs bei AT

Um den Therapieerfolg zu bestimmen gibt es zum einen Meßmethoden, die die Funktion der Achillessehne untersuchen, zum anderen wird versucht, durch entsprechende Methoden den subjektiven Patientenbefund zu quantifizieren.

Zu den *Funktionsmeßmethoden* zählt die Isokinetische Kraftmessung der Wadenmuskulatur am Dynamometer. Mit Hilfe dieser lassen sich die durch ein Exzentrisches bzw. Vibrationskrafttraining erworbene Kraftzuwächse quantifizieren [Nm]. Als zuverlässiger Meßparameter wird das maximale Drehmoment angesehen [79]. Niedrige konzentrische und exzentrische Kraftfähigkeiten wurden bei Personen mit AT im Vergleich zu gesunden Probanden bereits nachgewiesen [2]. Die Messung der Flexibilität (ROM) der muskulotendinären Einheit ist mit dem Dynamometer ebenfalls möglich. Neben der Plantarflexorenkraft ist das Ausmaß der Dorsalflexionskraft im Sprunggelenk ein Prädiktor des Achillessehnenüberlastungsschadens [76]. Die Messung der Sprunghöhe oder die Messung der Kraftausdauer sind weitere Funktionstests [113].

Zum anderen stehen Meßmethoden zur Verfügung, die versuchen den *subjektiven* Therapieerfolg zu objektivieren. Auf Schmerzskalen wie der VAS geben die Patienten an, wie der chronische Schmerz mit verschiedenen täglichen Aktivitäten (Erholung, Sport, etc.) interferiert. Anhand des Palpationsschmerzes kann ebenfalls anhand einer VAS das Schmerzausmaß quantifiziert werden. Mit dem US lassen sich durch Messung des Sehnendurchmessers Behandlungseffekte ebenfalls bestimmen [35].

1.2 Fragestellung und Ziele dieser Arbeit

Gegenstand dieser Arbeit ist ein etabliertes - ET bzw. WAS - sowie ein neuartiges Therapieverfahren - VT - zur Behandlung der chronischen AT.

Ziel dieser wissenschaftlichen Untersuchung ist es, die Therapieeffekte bzw. Stellenwert des ET bzw. WAS bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden zu prüfen und mit Patienten die VT erhalten haben zu vergleichen.

Folgende *Fragestellungen* ergeben sich, die anhand der Hypothesen (Kapitel 1.3) spezifiziert werden:

- Kommt es nach 12- wöchiger Therapie zu einer Besserung der Beschwerdesymptomatik?
- Kommt es nach 12- wöchiger Therapie zu einer Abnahme der messbaren Schmerzen?
- Lassen sich mit Hilfe der sonographischen Untersuchung vor und nach Therapie strukturelle Veränderungen im Befund nachweisen?
- Sind nach Ende der Studienteilnahme Änderungen der Flexibilität der muskulo-tendinären Einheit am Dynamometer nachweisbar?
- Sind nach Ende der Studienteilnahme Änderungen der Kraftfähigkeit am Dynamometer nachweisbar?

1.3 Hypothesenbildung

Die aufgestellten Hypothesen sollen zunächst auf die entsprechende Nullhypothese (H_0) überprüft werden, die Alternativhypothesen (H_x) werden jeweils formuliert.

Als Testniveau wird $\alpha = 0,05$ festgelegt. Die Nullhypothese (zweiseitig getestet) wird auf dem 5 % Niveau verworfen.

1.3.1 VAS- Schmerzfragebogen [mm]

H1.1 (Familie, Verantwortlichkeit zu Hause):

Werden die Probanden nach Beendigung der Studienteilnahme ein zweites Mal befragt, so weisen Patienten, welche VT erhalten haben eine größere Differenz [mm] (zwischen Messzeitpunkt 1 und 2) auf der VAS auf, als Patienten der ET- bzw. WAS- Gruppe.

H1.2 (Erholung): Analog zu H1.1.

H1.3 (Soziale Aktivitäten): Analog zu H1.1.

H1.4 (Lauftraining): Analog zu H1.1.

H1.5 (Sonstige sportliche Aktivitäten): Analog zu H1.1

1.3.2 Palpation der Achillessehne, VAS [mm]

H.2.1 (Ossäre Insertion):

Werden die Probanden nach Beendigung der Studienteilnahme ein zweites Mal getestet, so weisen Patienten, welche VT erhalten haben eine größere Differenz [mm] (zwischen Messzeitpunkt 1 und 2) auf der VAS auf, als Patienten der ET- bzw. WAS- Gruppe.

H2.2 (Sehnenmitte): Analog zu H2.1

H2.3 (tendo- muskulärer Übergang): Analog zu H2.1

1.3.3 Sonografischer Befund

H.3.1 (Vorhandensein einer Ansatzendinose):

Werden die Achillessehnen der Probanden nach Beendigung der Studienteilnahme ein zweites Mal sonografisch untersucht, so weisen die Patienten des VT in höherem Ausmaße als das ET bzw. WAS verminderte Ereigniswahrscheinlichkeiten im Befund auf.

H3.2 (Vorhandensein einer Bursitis Subachillea): Analog zu H3.1

H3.3 (Vorhandensein von Inhomogenitäten im Sehnenverlauf): Analog zu H3.1

H3.4 (Vorhandensein einer Paratendinitis): Analog zu H3.1

H3.5 (Vorhandensein einer Tendinitis): Analog zu H3.1

H3.6 (Vorhandensein einer Verdickung im Verlauf der Sehne): Analog zu H3.1

H3.7 (Vorhandensein einer Verkalkung im Verlauf der Sehne): Analog zu H3.1

1.3.4 Isokinetische Kraftmessung, Drehmoment [Nm]

H4.1 („Range- Of- Motion“):

Werden die Probanden nach Beendigung der Studienteilnahme ein zweites Mal gemessen, so weisen Patienten, welche VT erhalten haben eine größere Differenz [Nm] (zwischen Messzeitpunkt 1 und 2) auf als Patienten der ET- bzw. WAS- Gruppe.

H4.2 (Maximales Drehmoment, Konzentrische Plantar – und Dorsalflexion, 60°/Sekunde): Analog zu H4.1

H4.3 (Maximales Drehmoment, Konzentrische Plantar – und Exzentrische Dorsalflexion, 20°/Sekunde): Analog zu H4.1

1.3.5 Befragung zu den Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme (Ordinalskala)

H5.1: Werden die Probanden nach Beendigung der Studienteilnahme ein zweites Mal befragt, so stufen mehr Probanden, die VT erhalten haben, ihre Beschwerden als verbessert ein, als Probanden der ET- bzw. WAS- Gruppe.

2 Patienten und Methoden

2.1 Untersuchungsdesign

Bei der vorliegenden Pilotstudie, die den Zeitraum von November 2006 bis Mai 2007 umschloss, handelte es sich um eine Längsschnittuntersuchung an insgesamt 54 Personen, die unter chronischen Achillessehnenbeschwerden litten.

2.2 Untersuchungsablauf und Messverfahren

Die *Studiendauer* für jeden einzelnen Teilnehmer betrug durchschnittlich zwölf Wochen. Beginn der Studie für jeden Teilnehmer war dabei die Eingangsuntersuchung. In der darauffolgenden Studienzeit erfolgten die Trainingseinheiten für die Vibrationstrainingsgruppe und die exzentrisch trainierende Kraftgruppe in den Räumen der medizinischen Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Sportmedizin. Mit der Ausgangsuntersuchung nach zwölf Wochen war für jeden Teilnehmer die Studie abgeschlossen.

Die *Akquirierung* der Teilnehmer erfolgte über die Pressestelle der Universität Tübingen sowie über Internetanzeigen der Abteilung Sportmedizin und Sportvereinen des Landkreises Reutlingen und Tübingen.

Per Telefon wurde für jeden gemeldeten Interessenten ein Termin für die Sprechstunde des Prüfarztes zur Erstuntersuchung arrangiert. Dabei erfolgte schon telefonisch anhand der Ein- und Ausschlusskriterien (Kapitel 2.3) eine Vorauswahl der möglichen Studienteilnehmer.

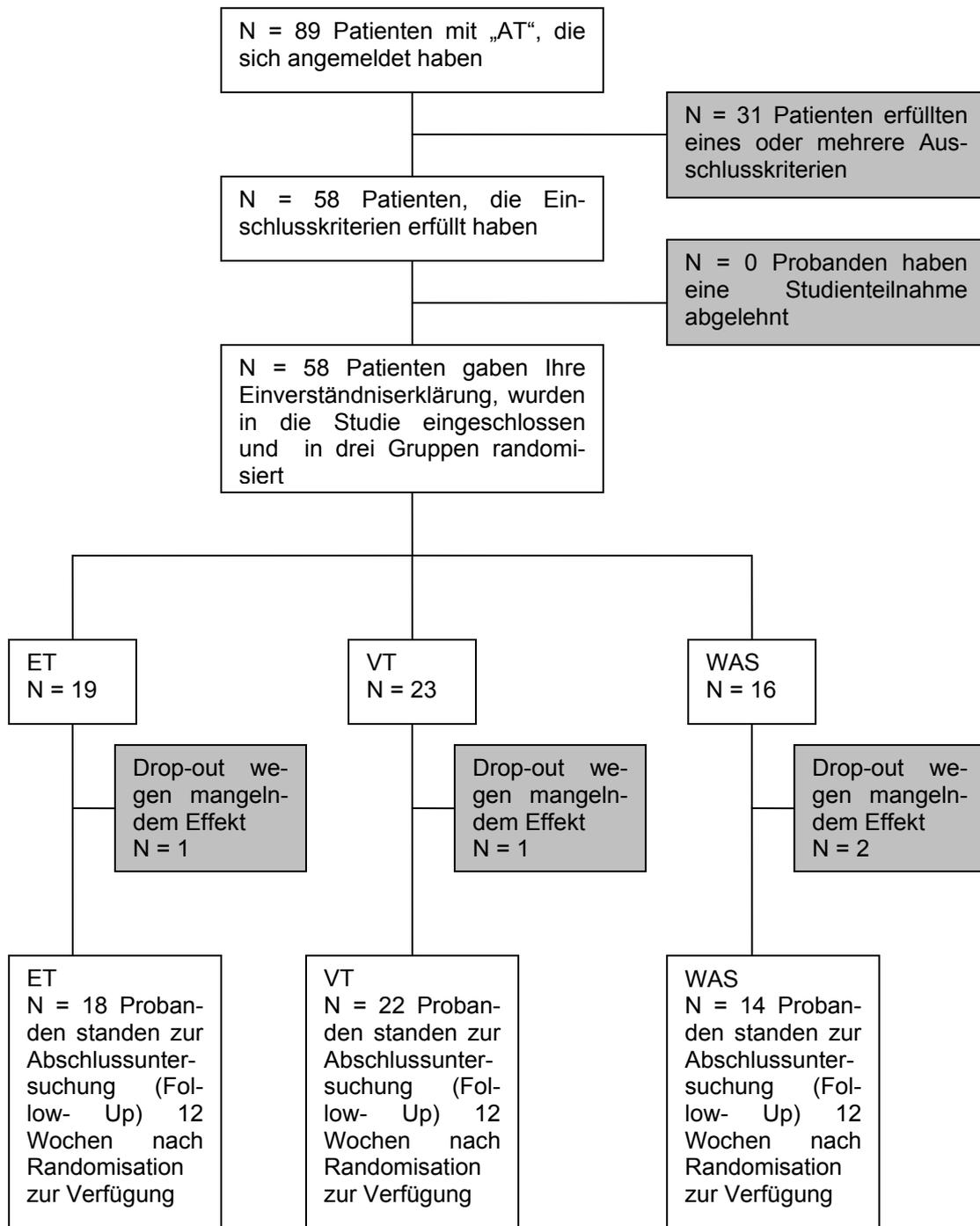


Abbildung 1: „CONSORT flow chart“. Die Abbildung zeigt den „Patientenfluss“ mit Fallzahl (n) in den verschiedenen Phasen der Studie. Grau hinterlegte Textboxen fassen die ausgeschlossenen Patienten zusammen

Im Rahmen der Eingangsuntersuchung erfolgte die *Patientenaufklärung* durch den Prüfarzt: Zuerst erhielten die Patienten ein *Informationsblatt* und die *Einwil-*

ligungserklärung zur Teilnahme an der Studie. Die Aufklärung erfolgte somit mündlich und schriftlich über die Inhalte und Ziele der Studie. Erklärte sich der Patient zur Teilnahme an der Studie bereit, so erfolgte im Anschluss die Untersuchung des Patienten. Anschließend wurde nochmals anhand der Ein- und Ausschlusskriterien vom Prüfarzt geprüft, ob die Person für die Studie als Proband in Frage kommt und somit für die Studie rekrutiert wird.

Die Eingangsuntersuchung gliederte sich in *zwei, von jeweils unterschiedlichen Untersuchern durchgeführte Teile*, um eine standardisierte Untersuchung zu gewährleisten: Zuerst erfolgte die *Klinische Untersuchung*, die immer von dem Prüfarzt durchgeführt wurde, und welche die unter 2.2.1 – 2.2.8 genannten Untersuchungen beinhaltet. Im Anschluss daran folgte eine *Isokinetische Kraftmessung* (siehe 2.2.9) welche immer vom Doktorand durchgeführt wurde.

Nach der Eingangsuntersuchung wurden die Teilnehmer/Innen anhand einer Randomisationsliste in drei Gruppen unterteilt:

- eine *Vibrationstrainingsgruppe (VT- Gruppe)*
- eine *konventionelle, exzentrische Kraft trainierende Gruppe (ET- Gruppe)*
- und eine *„wait-and-see“- Gruppe (WAS- Gruppe)*

Die Abschlussuntersuchung nach 12 Wochen Studienteilnahme enthielt inhaltlich denselben Untersuchungsvorgang wie die Eingangsuntersuchung und Isokinetische Kraftmessung.

Die Befunde der Eingangs- sowie Ausgangsuntersuchung wurden im Patienten-CRF schriftlich dokumentiert und anschließend im Statistik- Programm JMP 6.0 gespeichert.

2.2.1 Persönliche Datenerhebung

Die Erfassung der persönlichen Daten beschränkte sich auf Initialen, Alter, Teilnehmernummer und Randomisationsgruppe.

2.2.2 Biometrische Datenerhebung

Im Rahmen der Eingangsuntersuchung wurden die Patienten gewogen und ihre Körperlänge gemessen. Anhand der gewonnenen Werte wurde anschließend der Body-Maß-Index folgendermaßen berechnet:

$$\text{BMI} = \text{Körpergewicht(kg)} : \text{Körperlänge(m)}^2$$

2.2.3 Anamnestische Datenerhebung

Die Anamneseerhebung umfasste insgesamt 4 *Bereiche*:

Die Befragung zur *Lokalisierung der Schmerzen*: Die Probanden konnten Ihre Beschwerden im Bereich von Sehnenansatz (am Fersenbeinknochen), Middle-rem Bereich der Sehne (2-6 cm proximal der Ansatzstelle der Sehne) oder des Übergangs zwischen Sehne und Muskel angeben.

Die *Schmerzanamnese*: Diese beinhaltete Angaben zu dem Zeitpunkt, an dem die Beschwerden der Achillessehne erstmalig auf traten, ob sie erstmalig akut oder allmählich auftraten und ob den Beschwerden ein Trauma zugrunde lag.

Weiterhin wurde nach dem Zeitpunkt gefragt, wann die Schmerzen normalerweise auftraten (morgens, tagsüber, abends, bei Belastung, nach Belastung oder in Ruhe).

Die *Anamnese zu bisher durchgeführten Therapien* seit Beginn der Beschwerden im Bereich der Achillessehne: Der Prüfarzt fragte, ob bisher schon medikamentös behandelt wurde (Nicht Steroidale Antirheumatika, Corticoide und andere Medikamente), physikalische Anwendungen erhielt (Wärme- oder Kälteapplikation), physiotherapeutische Behandlungen durchgeführt wurden (Manuelle Therapie, Krankengymnastik) oder durch Schuheinlagen oder sonstige Maßnahmen interveniert wurde. Wenn ja, sollte vom Proband der Zeitraum angegeben werden.

Die *Befragung zu Trainingsgewohnheiten* in den verschiedenen Sportarten: Die Probanden sollten Angaben zu der ausgeübten Sportart (Laufen und/oder an-

dere) und jeweiligen Trainingspensum (Trainingseinheiten, -zeit und -umfang pro Woche oder Jahr) angeben.

2.2.4 Orthopädische Untersuchung

Die orthopädische Untersuchung diene dazu die folgenden Messparameter zu erheben:

- Die *statische Fußform im Bereich des Mittel- und Rückfuß* (normal, Hohlfuß und/oder Knick- Senkfuß)
- Die *statische Fußform im Stand im Bereich des Calcaneus* (normal, varus oder vermehrt valgus)
- Die *statische Fußform im Bereich des Vorfußes* (normal, Spreizfuß, Hallux valgus und/oder Zehendeformität)
- Die *physiologische Fußkorrektur im Zehenstand* (vorhanden, nicht vorhanden)
- Der *einbeinige Zehenspitzenstand* (schmerzhaft, nicht schmerzhaft)
- Der *passive Vorschub des Sprungbeins* (vorhanden, nicht vorhanden)



Abbildung 2: Bestimmung des „Talusvorschubs“ im Rahmen der Orthopädischen Untersuchung

- Das *Bewegungsmaß* (ROM = „range-of-motion“) im Bereich des OSG (= oberes Sprunggelenk) und USG (= unteres Sprunggelenk)



Abbildung 3: Bestimmung des Bewegungsausmaßes (ROM) im oberen Sprunggelenk (OSG)

- Die *Beinlänge* (vorhandene bzw. nicht-vorhandene anatomische Verkürzung)
- Die *Beinachse im Stand* (gerade Beinachse, vorhandene Achsabweichung, Genu Recurvatum, Genu valgus, Genu varum)
- Der *Beckentiefstand* (vorhanden, nicht vorhanden)

2.2.5 Befragung zum Schmerzempfinden

Eine Likert- Skala bestimmt das Ausmaß, mit dem eine Person einer Aussage zustimmt bzw. ablehnt [103]. Anhand dieser Ordinalskala konnten die Probanden nach Ende der Studienteilnahme im Rahmen der Ausgangsuntersuchung Angaben dazu machen, ob sich deren Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme verschlechterten, nur leicht verschlechterten, gleichbleibend waren, leicht verbesserten oder verbesserten.

2.2.6 VAS- Schmerzfragebogen

Der VAS- Schmerzfragebogen beinhaltete 5 *Kategorien*: Familie bzw. Verantwortlichkeit zu Hause, Erholung, Soziale Aktivitäten, Lauftraining und sonstige sportliche Aktivitäten.

In jeder dieser Kategorien ließen sich Angaben zur Beeinträchtigung durch die Achillessehnenbeschwerden auf einer *Visuellen Analog Skala* in dem Messbe-

reich zwischen 0 (keine Beeinträchtigung) und 100 mm (völlige Beeinträchtigung) machen.

Die Probanden sollten einschätzen, wie stark Sie durch Ihre Achillessehnenbeschwerden in den genannten Lebensbereichen eingeschränkt sind und wurden gebeten bei jeder Kategorie einen Strich auf der Linie zu machen.



Abbildung 4: „VAS- Schmerzfragebogen“ mit 5 Kategorien Familie, Erholung, Soziale Aktivitäten, Lauftraining und sonst. sportl. Aktivitäten [mm/VAS]

2.2.7 Palpationsschmerz (VAS)

Der Prüfarzt palpierter zwischen Daumen und Zeigefinger die rechte und linke Achillessehne und drückte dabei mit möglichst immer gleicher Kraft bei jedem Probanden, damit eine Standardisierung gewährleistet war.

Die Probanden wurden gebeten bei jeder Kategorie (Übergang Sehne-Muskel, Paratenon bzw. im Mittleren Bereich der Sehne und Ossäre Insertion) einen Strich auf der VAS zu machen. Der Messbereich lag zwischen 0 (keine Beeinträchtigung) und 100 mm (völlige Beeinträchtigung).



Abbildung 5: Bestimmung des Palpationsschmerzes im Bereich der linken Sehnenmitte



Abbildung 6: VAS Palpationsschmerz [mm/VAS] mit den Kategorien Tendo- muskulärer Übergang, Sehnenmitte und Ossäre Insertion der beispielsweise rechten Seite

2.2.8 Sonografischer Befund

Die Untersuchungen wurden mit dem Ultraschallgerät „Sonoline Versa Pro“ der Firma Siemens durchgeführt. Vom Prüfarzt wurden ein Längs- und ein Querschnitt ansatznah und 2 cm proximal des Sehnenansatzes durchgeführt. Auffälligkeiten wie Verdickungen, Inhomogenitäten, Verkalkungen und/oder Flüssigkeitsansammlungen im Sehnenverlauf wurden mit Bildschirmausdruck dokumentiert. Der Durchmesser der Achillessehne wurde im Längs- und Querschnitt ausgemessen.



Abbildung 7: Ultraschallmessung im Querschnitt, 2 cm proximal des Sehnenansatzes

2.2.9 Isokinetik

2.2.9.1 Gerätebeschreibung

Die Kraftmessungen der Studie wurden mit dem *Isomed 2000* (D. & R. Ferstel GmbH) durchgeführt. Der *Isomed 2000* ist ein computergestütztes Dynamometer- Trainingssystem, mit welchem alle Extremitätengelenke getestet und trainiert werden können.

Bestandteile des *Isomed 2000* sind ein Sitzpolster mit höhenverstellbarer Rückenlehne, ein Dynamometer mit zugehörigen Adaptern, ein Monitor-Tragarm-System (MTS) und ein Schaltschrank. Durch den an den *Isokinet* angeschlossenen PC können Drehmomente und Winkel aufgezeichnet werden.

Verschiedene Einstellungen zur Arbeitsweise der Muskulatur (konzentrisch, exzentrisch, isometrisch und aktiv bzw. passiv) können kombiniert werden.

2.2.9.2 Untersuchungsablauf

Die Probanden wurden zuerst gebeten ein Paar Schuhe (Nike, Air Pegasus) in Ihrer Schuhgröße anzuziehen, so dass für die Ausgangsmessung nach 12 Wochen Studienteilnahme mit dem selben Schuhpaar eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen am *Isomed 2000* gewährleistet werden konnte.

Die Geräteeinstellungen am Isokinet orientierten sich an denen für die Messung von Knöchel Flexion/Extension (Knie extended) [33]. Die Dynamometerhöhe wurde von 0 auf 10 cm erhöht. Zusätzlich wurde bei jedem Teilnehmer mit einem Gurt des Adapters Nr. E der Unterschenkel fixiert, damit die Bewegung im Kniegelenk bestmöglich eingeschränkt war.

Für jeden Teilnehmer individuell eingestellt wurden die Auszug-Länge des Adapters und die Fußadapter-Verschiebung. Diese Einstellungen wurden vom Isokineten automatisch gespeichert, so dass im Rahmen der Ausgangsmessung die gleichen individuellen Einstellungen vorhanden waren.

Die Testperson wurde nun gebeten in Rückenlage auf der Liege Platz zu nehmen und den Fuß in dem Adapter zu positionieren. Anhand der Auszug-Länge und der Fußadapter-Verschiebung konnte individuell die Drehachse des Dynamometers mit der Drehachse des Sprunggelenks (Malleolus lateralis – Malleolus medialis) in Übereinstimmung gebracht werden. Der Fuß wurde im Adapter, der Unterschenkel mit dem Gurt fest an der Liege fixiert. Der Oberkörper wurde nicht fixiert. Die Arme wurden von der Testperson seitlich am Körper gehalten und hielten mit den Händen seitlich an der Liege fest.

Auf eine Verschränkung der Arme auf der Brust wurde bewusst verzichtet, da es im Vorfeld im Rahmen von Testuntersuchungen immer wieder zu reflexartigem Greifen der Hände an die Liege gekommen ist und somit diese Verfälschung der Testergebnisse umgangen werden sollte.

Vor Beginn der Messungen wurden die später durchzuführenden Tests im Probe-Modus vom Teilnehmer ausgeführt, um die Teilnehmer mit dem Test- und Bewegungsablauf vertraut zu machen.



Abbildung 8: Isokinetische Kraftmessung am rechten Bein des Probanden.

Im Anschluss daran erfolgte die eigentliche Messung. Diese gliederte sich in 3 *Teilmessungen*, die zuerst für das rechte, anschließend für das linke Bein durchgeführt wurden. Zwischen den Teilmessungen erfolgte die durch den PC vorgegebene Pause, die bei ca. 15 - 30 Sekunden lag.

Die *erste Messung* erfolgte in keinem Modus. Anhand des Pfeil-Cursors des MTS konnte das Fußgelenk passiv vom Doktorand flektiert bzw. extendiert werden. Dieser notierte zu den Winkelpositionen 0, -5, -10, -15, -20 und -25° die zugehörigen Werte für das Drehmoment [Nm]. Mit dieser Untersuchung wurde die Flexibilität der Wadenmuskulatur inklusive Achillessehne getestet.

Die *zweite Messung* erfolgte im konzentrisch - konzentrisch Modus. Dabei musste der Proband im Wechsel so kräftig wie möglich aktiv gegen Widerstand im Sprunggelenk flektieren und extendieren. Die Messung umfasste 3 Bewegungszyklen. Die Winkelgeschwindigkeit war mit 60°/Sekunde vorgegeben.

Die *dritte Messung* erfolgte im exzentrisch - konzentrisch Modus. Der Teilnehmer sollte mit maximaler Anstrengung im Sprunggelenk konstant aktiv flektieren und den Isokinet mit der vorgegebenen Winkelgeschwindigkeit von

20°/Sekunde versuchen aufzuhalten. Die Drehmomentüberschreitungsgrenze war mit 300 Nm sehr hoch gewählt, welche die Teilnehmer also nicht erreichen konnten. Die Messung umfasste 3 Bewegungszyklen.

Die Ergebnisse wurden im PC gespeichert und später noch ausgedruckt. In einem weiteren Schritt wurden die Daten in das JMP- Programm eingegeben und statistisch ausgewertet.

2.3 Patientengut

2.3.1 Probandenauswahl

Folgende *Ein- und Ausschlusskriterien* wurden im Rahmen der Eingangsuntersuchung durch den Prüfarzt geprüft.

Tabelle 1: Auflistung der Einschlusskriterien

Einschlusskriterien
Patientenalter zwischen 25 und 55 Jahren
Rezidivierende Beschwerden seit mindestens 6 Monaten im Bereich einer oder beider Achillessehnen. Diese treten bei Belastung und/oder in Ruhe auf
Strukturelle Veränderungen der Sehne sollen vorhanden sein und mittels der sonografischen Untersuchung im Rahmen der Eingangsuntersuchung nachgewiesen werden
Das wöchentliches Laufpensum beträgt weniger als 50 km im Ausdauertrainingsbereich
Während der Studiendauer sollen die Probanden keine Intensivierung Ihres sportlichen (Lauf-)Trainings vornehmen
Während der Studiendauer sollen von den Probanden keine weiteren Therapiemaßnahmen gegen die Achillessehnenbeschwerden durchgeführt werden
Nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung des Probanden über die Ziele und Inhalte der Studie muss seine Einwilligung zu einer Teilnahme vorliegen

Tabelle 2: Auflistung der Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien
Durchgeführte Achillessehnen-spezifische Therapiemaßnahmen in den letzten 4 Wochen vor Studienbeginn. Hierzu zählen Physiotherapeutische Maßnahmen, Physikalische Anwendungen, Einlagenversorgung (auch Heel-Pads) sowie medikamentöse Therapie (Nicht Steroidale Antirheumatika, Cortison)
Voroperationen im Bereich des Sprunggelenks oder der Achillessehne
Beschwerden an der unteren Extremität, die keiner der genannten Verletzungen zuzuordnen sind
Bestehen eines Akuten oder chronischen Allgemeininfekts
Regelmäßige Medikamenteneinnahme (sofern bedenkliche Substanz)
Alkoholabusus
Prüfzentrum zu weit vom Wohnort entfernt
Teilnahme an einer anderen klinischen Studie innerhalb der letzten 30 Tage
Vorliegende Schwangerschaft
Akute Thrombosen
Akute Entzündungen des Bewegungsapparates
Akute Tendinopathien in trainierten Körperregionen
FrISCHE Frakturen in trainierten Körperregionen
Implantate in trainierten Körperregionen
Zustand nach frischer Operation
Akute Hernien
Akute Diskopathien
FrISCHE Wunden und Narben in trainierten Körperregionen
Rheumatoide Arthritis
Epilepsie
Aktive Arthrosen und Arthropathien
Migräneanfälle
Steinleiden von Gallenwegen und ableitenden Harnwege

2.3.2 Probanden- und Gruppenbeschreibung

Studienteilnehmer waren ausschließlich Patienten mit chronischer AT im Bereich der ossären Insertion, der Sehnenmitte und/oder des tendo- muskulären Übergangs. Untersucht wurden 108 Achillessehnen von 54 Probanden. *Nur eine*, die am meisten betroffene Sehne eines Probanden, wurde in die Auswertung mit einbezogen (siehe Kapitel 2.5.4).

In der folgenden Tabelle sind die biometrischen Daten der drei verschiedenen Therapiegruppen zusammengefasst.

Tabelle 3: Biometrische Daten der Teilnehmer/ -innen der Exzentrischen (ET)-, Vibrations (VT)-, und „wait- and- see“ (WAS) - Gruppe. Angabe des Mittelwertes (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.)

	ET	VT	WAS
N (Anzahl)	18	22	14
Alter (Jahre); Mw. +/- St. abw.	45,61 +/- 8,73	45,86 +/- 7,05	44,14 +/- 7,95
Alter (Jahre); Min.-Med.-Max.	25 - 47 - 55	32 - 45 - 55	27 - 46 - 53
Geschlecht, w (Anzahl)	8	10	6
Geschlecht, m (Anzahl)	10	12	8
BMI (Gewicht[kg]/Groesse[m] ²); Mw. +/- St. abw.	24,58 +/- 2,59	25,34 +/- 3,49	24,7 +/- 3,61
BMI (Gewicht[kg]/Groesse[m] ²); Min.- Med.- Max.	20,75 - 24,92 - 29,33	18,59 - 25,74 - 31,77	20,31 - 23,27 - 31,48

2.4 Trainingsmethoden und –durchführung

In den 12 Wochen Studienzeit war für jeden Probanden der VT- und der ET-Gruppe 36 Trainingseinheiten (TE) eingeplant. Eine Mindestanzahl von 24 TE war gefordert, um als Proband von der Studie nicht ausgeschlossen zu werden. Die Trainingsdurchführung war an insgesamt 3 Wochentagen möglich: Montags, mittwochs und donnerstags zwischen 7:00 - 8:00 Uhr und 17:30 - 19:00 Uhr.

Die Termine für die einzelnen Teilnehmer wurden jeweils individuell vereinbart. Im Rahmen der ersten TE wurde der Teilnehmer mit dem Trainingsgerät vertraut gemacht.

Vor jeder TE des VT bzw. ET war es den Probanden möglich 5 – 10 Minuten auf dem Ergometer oder Laufband die Muskulatur „aufzuwärmen“, sowie im Anschluss an die TE 5 – 10 Minuten auf dem Ergometer oder Laufband diese wieder „auszulockern“. Jede TE aller Probanden wurde unter Aufsicht durchgeführt, um eine korrekte technische Durchführung der Übungen zu gewährleisten. Während der 12 Wochen Trainingsteilnahme war den Teilnehmern ein Ausüben ihrer Sportart weiterhin erlaubt, ohne dabei ihr Trainingspensum zu steigern. Das Training wurde jeweils vom Proband und vom Studienleiter protokolliert.



Abbildung 9: „Aufwärmen“ bzw. „Lockern“ der Muskulatur auf dem Fahrradergometer vor bzw. nach der TE

2.4.1 Vibrationstraining (VT)

2.4.1.1 Gerätebeschreibung

Das VT wurde auf dem Galileo Fitness™ der Firma Novotec Medical GmbH durchgeführt. Das Trainingsgerät besteht aus einer Basiseinheit mit Vibrations-

platte, einem vormontiertem Ständer mit Haltegriff und einem Bedienteil. Über das Bedienteil, lassen sich Trainingsparameter Zeit und Amplitude einstellen. Das Galileo Fitness™ ist als Medizinprodukt registriert und zertifiziert (CE) und erfüllt somit alle geforderten Normen (DIN, IEC, EN, TÜV).

2.4.1.2 Trainingsablauf

Das Training auf der Vibrationsplatte wurde in 3 Teile gegliedert:

- *Aufwärmen („Warm- Up“)*:

Die *Dauer* des Aufwärmens betrug über alle TE hinweg konstant 1 Minute. Die *Frequenz* wurde im unteren Bereich zwischen 13 – 16 (♀) und 15 - 18 (♂) individuell eingestellt. Die *Fußposition* auf dem Gerät wurde zwischen 1 und 2,5 gewählt, je nach körperlicher Konstitution (Größe, Gewicht, Beckenumfang), so dass ein physiologischer Stand gewährleistet (Übung V1, Neutralposition) war. Die Übungen V2-V4 wurden im Wechsel durchgeführt. Während allen Übungen wurde darauf geachtet, dass der Oberkörper aufrecht war. Eine vollständige Kniestreckung wurde stets vermieden. Den Probanden war es erlaubt sich während der Übungen an dem Haltebügel abzustützen.



Abbildung 10: Links, Übung V1, Neutralposition auf der Vibrationsplatte



Abbildung 11: Rechts, Übung V2, Einbeinstand im Wechsel zwischen re. und li. Bein



Abbildung 12: Links, Übung V3, beidbeiniger Zehenstand im Wechsel mit Übung V1



Abbildung 13: Rechts, Übung V4, wechselseitiges „auf- der- Stelle- treten“

- *Hauptteil:*

Die *Dauer* des Hauptteils steigerte sich im Verlaufe der TE bzw. der gesamten Trainingswochen: *Woche 1 – 4* im Bereich zwischen 4 und 5 Minuten, *Woche 5 – 8* zwischen 5 und 6 Minuten, die *Wochen 9 – 12* im Bereich zwischen 6 und 7 Minuten. Die *Frequenz* wurde im Bereich zwischen 16 - 19 (♀) und 18 - 21 (♂) eingestellt. Die *Fußposition* auf dem Gerät wurde zwischen 2,5 und 4 gewählt, um eine Steigerung der Amplitude und somit des Trainingsreizes zu erhalten.

Es wurden die Übungen V5 und V6 im Wechsel durchgeführt bis eine Ermüdung der Wadenmuskulatur auftrat. Zur kurzzeitigen Regeneration war die Durchführung der Übungen V4 oder V7 erlaubt.



Abbildung 14: Links, Übung V5, Zehenstand an der Kante der Vibrationsplatte



Abbildung 15: Rechts, Übung V6, sogenannter „heel-drop“ aus Position V5



Abbildung 16: Li., V7, wechselseitiges Dehnen der Wadenmuskulatur zwischen re. und li. Bein



Abbildung 17: Re., V8, „Lockern“ der Muskulatur, beide Beine im Wechsel

- *Auslockern* („Cool- Down“):

Die *Dauer* des „Auslockerns“ (Übung V8) betrug über alle TE hinweg konstant 1 Minute. Die *Frequenz* wurde im Bereich zwischen 13 - 16 (♀) und 15 - 18 (♂) eingestellt.

2.4.2 Exzentrisches Training (ET)

Zur Durchführung des ET wurde ein *Reebok™ Step* benötigt.

Übung A:

Die Probanden standen aufrecht (gestrecktes Knie), mit Ihrem ganzen Körpergewicht auf einem Bein und dem Vorfuß an der Längskante des Steps. Mit dem Sprunggelenk in Plantarflexion (Position E1) wurde die Wadenmuskulatur exzentrisch belastet, in dem der Patient seine Ferse unter die Höhe seines Vorfußes abgesenkt hat (Pos. E2). Die Probanden belasteten die Wadenmuskulatur nur Exzentrisch, da sie das andere Bein und/oder die Arme dazu benutzten um wieder in die Startposition (Pos. E3) zu gelangen.



Abbildung 18: Links, Position E1, einbeiniger Zehenstand mit Sprunggelenk in Plantarflexion



Abbildung 19: Rechts, Position E2, Sprunggelenk in Plantarextension



Abbildung 20: Links, Startposition E3, beidbeiniger Zehenstand, Sprunggelenk in Plantarflexion
Abbildung 21: Rechts, Proband mit zusätzlichem Gewicht (im Rucksack)

Übung B:

Durchführung wie Übung A, jedoch mit leicht gebeugtem Knie, um die Aktivierung des M. soleus zu verstärken.

Jede der zwei Übungen beinhaltete 15 Wiederholungen zu 3 Übungssätzen (3 mal 15 Wiederholungen) für jedes Bein. Wurden im Verlauf der 12 Wochen die Übungen ohne Ermüdung durchgeführt, so wurde zuerst ein weiterer Übungssatz hinzugefügt (4 mal 15 Wiederholungen). Sollte mit dieser Übungszahl im Laufe der Studienteilnahme ebenfalls ein ermüdungsfreier Zustand erreicht werden, so wurden die Patienten dazu angeleitet, die Körperlast um ein zusätzliches Gewicht zu ergänzen: Die Probanden benutzten dazu einen Rucksack, der mit Erreichen jeder ermüdungsfreien Stufe um ein zusätzliches Gewicht beladen wurde. Somit konnte erreicht werden, dass die exzentrische Belastung allmählich gesteigert und ein Trainingsreiz gesetzt wurde

2.4.3 „Wait- and- See“- Gruppe

Die „WAS“- Gruppe nahm an keinem Training teil. Sie verpflichteten sich zur Führung eines „Aktivitäten“- bzw. Trainingstagebuchs, welches dazu diente die Compliance in dieser Gruppe aufrecht zu erhalten.

Im Anschluss der Studienteilnahme erhielten die Teilnehmer als materielles Benefit das Angebot an einer kostenlosen Ganganalyse inklusive Beratung teilzunehmen. Weiterhin wurde den Probanden der WAS- Gruppe ermöglicht in einer der beiden Trainingsgruppen (ET oder VT) erneut teilzunehmen.

2.5 Statistische Datenverarbeitung

Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe des Statistik- Programms JMP 6.0 (SAS Institute Inc.) in eine Datenbank eingegeben und gespeichert. Eine Plausibilitätskontrolle wurde in Form von „list check“ und „range check“ durchgeführt. Die stichprobenhafte Überprüfung der Daten ergab sehr gute Zuverlässigkeit. Die Datenauswertung erfolgte zusammen mit Hilfe der Mitarbeiter des Instituts für Medizinische Biometrie der Universitätsklinik Tübingen.

2.5.1 Datengewinnung

Die Datengewinnung erfolgte zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung (0 Wochen) und nach 12 Wochen im Rahmen der Abschlussuntersuchung (12 Wochen).

Zum *Zeitpunkt 0* wurden biometrische (BMI, Geschlecht und Alter), anamnestische (zu Schmerz, Training und bisherigen Therapien) und klinische (Orthopädischer Befund) Daten erfasst. Zusätzlich erfolgte die Messung der eigentlichen Zielgrößen (Palpationsschmerz, VAS- Schmerzfragebogen, Ultraschall und Isokinetische Kraftmessung).

Nach Abschluss der Studie zum *Zeitpunkt 12 Wochen* wurden erneut die Zielgrößen (Palpationsschmerz, VAS- Schmerzfragebogen, Ultraschall und Isokinetische Kraftmessung) erhoben.

2.5.2 Datendarstellung

Einmalig erhobene Daten (Biometrische, Anamnestische, Untersuchungs- und Befragungsdaten) wurden mit Hilfe deskriptiver Verfahren (absolute und relative Häufigkeiten) untersucht und mittels Tabellen, JMP- und Excel- Graphiken beschrieben.

Zum Vergleich der intervallskalierten Meßwertepaare (Zielgrößen: Palpationsschmerz, VAS- Schmerzfragebogen und Isokinetische Kraftmessung) aus der Stichprobe, die zum Zeitpunkt 0 und 12 Wochen erhoben wurden, wurden im Gruppenvergleich (VT, ET, WAS) Mittelwerte, Standardabweichung, Minima, Mediane und Maxima der Differenzen berechnet.

Die Messwerte der Varianzanalyse (ANOVA) wurden einerseits tabellarisch und ergänzend dazu grafisch dargestellt. Hierzu ist das 95%- Konfidenzintervall der Mittelwerte als „mean diamond“ und darin der Mittelwert der Gruppe als Mittellinie eingezeichnet. Zusätzlich sind für die Gruppen in einem „Box- and- Whisker- Plot“ die Interquartilsabstände mit Angabe des Minimum, Median, Maximum, 1. und 3. Quartil zusätzliche Informationen angegeben.

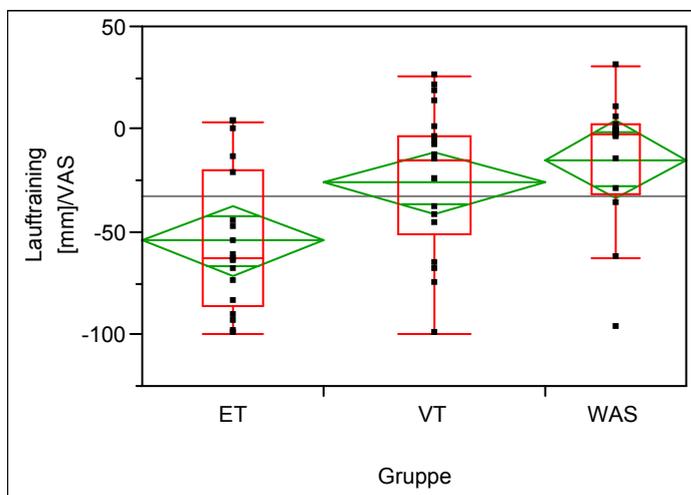


Abbildung 22: Beispiel für eine Varianzanalyse mit Darstellung der 95%- Konfidenzintervalle der Mittelwerte als „mean diamonds“ (grün). In rot sind die Box- and- Whisker- Plots“ mit den daraus ersichtlichen Quartilen dargestellt. Die Horizontallinie entspricht dem Mittelwert der Varianz aller 3 Gruppen

Zum Gruppenvergleich der ordinalskalierten Meßwertepaare (Zielgröße: Ultraschall) dient die grafische Darstellung der Kontingenztabelle aus den Angaben zu absoluter und relativer Häufigkeit ersichtlich sind.

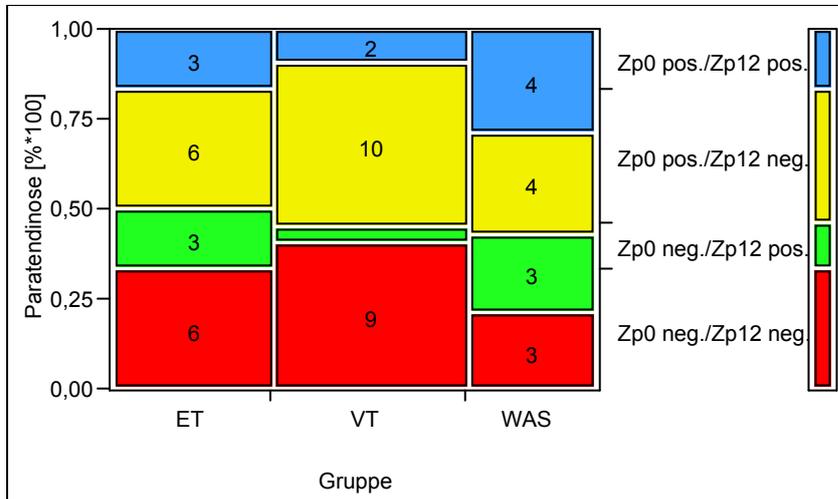


Abbildung 23: Beispiel für die Darstellung einer Kontingenztabelle mit Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Häufigkeitsverteilungen (Anzahl pro Gruppe). Zp0 bzw. Zp12 entsprechen den Zeitpunkten 0 (Eingangsuntersuchung) bzw. 12 Wochen (Ausgangsuntersuchung). „pos.“ bzw. „neg.“ entsprechen einem positiven = vorhandenen bzw. negativen = nicht vorhandenen Befund

2.5.3 Tests

Die Überprüfung der Ergebnisse der *intervallskalierten* Meßwertepaare (Palpationsschmerz, VAS- Schmerzfragebogen und Isokinetische Kraftmessung) erfolgte mittels ANOVA („Analysis of Variance“) und bei einem p- Wert < 0,05 mit nachgeschobenen Tukey- Kramer- Test, sofern die Bedingungen der Normalverteilungen gegeben waren.

Waren diese nicht gegeben, so wurde ein nicht- parametrischer Kruskal- Wallis- Test (entspricht einem Wilcoxon- Rangsummen- Test für mehr als 2 unverbundene Stichproben) durchgeführt. Im Falle eines p- Wertes < 0,05 wurde die Nicht-Normalverteilung als vernachlässigbar angesehen und eine ANOVA wie oben für Normalverteilung beschrieben durchgeführt.

Die *ordinalskalierten* Meßwertepaare des Ultraschallbefundes wurden mit Hilfe des Fisher- Exakt- Test überprüft, da die Bedingungen für den Chi²- Test (Erwartete Häufigkeiten von mindestens 5 pro Feld der Kontingenztabelle oder dass zumindest der Anteil der erwarteten Häufigkeiten, die kleiner als 5 sind, 20%

nicht überschreitet) nicht erfüllt waren. Der Test dient zur Analyse von Häufigkeitsunterschieden. Für ein $p < 0,05$ wird die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese abgelehnt [120]. Um die Durchführbarkeit des Fisher- Exakt-Tests zu ermöglichen wurden hierzu die Befunde 0,1,2 (keine Verschlechterung bzw. Verschlechterung und keine Verbesserung) und -1 (Verbesserung) in jeweils eine Kategorie zusammengefasst.

Die Überprüfung der Normalverteilung erfolgte mittels des Shapiro- Wilk- Tests. War ein p- Wert $> 0,05$ gegeben, so wurde angenommen, dass es sich um eine Normalverteilung handelte.

2.5.4 Multiple Beiträge eines Probanden

Im Falle dass von ein und demselben Probanden die Daten zu beiden Achillessehnen (rechts *und* links) erhoben wurden (Klinische Untersuchung, Isokinetische Kraftmessung, Ultraschallbefund und Palpationsschmerz), so hatte man sich anhand unten genannter Kriterien auf eine betroffene Seite (rechts *oder* links) festgelegt:

Die Patienten wurden im Rahmen der Anamnese befragt wo die Schmerzen subjektiv am stärksten zu lokalisieren waren (rechts bzw. links und am Ansatz bzw. Mitte bzw. Tendo-muskulären Übergang der Achillessehne). Anhand des gemessenen Palpationsschmerzes (am Ansatz, Mitte und Tendo-muskulären Übergangs) wurde nachfolgend objektiv die Stelle des größten Schmerzens festgestellt. Subjektive (Patient) wie Objektive Beurteilung (Prüfarzt) flossen somit in die Entscheidung ob der am stärksten betroffenen Achillessehne mit ein.

Würden beide Achillessehnen ein und desselben Probanden in die Auswertung mit einfließen, so würde es sich dabei um multiple Beiträge eines Probanden handeln. Da diese abhängig sind, dürfen diese nicht als unabhängige Daten in die Auswertung eingebracht werden. Dies würde zwar die Anzahl der Beobachtungen erhöhen, nicht jedoch die erhaltene Information [11].

2.5.5 Zur Bedeutung des p- Wertes

„Der p- Wert quantifiziert die Wahrscheinlichkeit, dass das gefundene Testergebnis zustande kommt, wenn in Wirklichkeit die Nullhypothese richtig ist“ [120]. Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine Pilotstudie handelt und die Fallzahl (n=54) zu niedrig ist eine Signifikanz zu erreichen, hat diese mit Ihren Ergebnissen lediglich hypothesen- generierenden deskriptiven Charakter. Ein tatsächlich beobachteter Unterschied zwischen den Gruppen bei einem p- Wert von $<0,05$ kann sowohl dadurch entstehen, dass die Fallzahl nicht ausreichte, den Unterschied nachzuweisen als auch dadurch, dass dieser Unterschied in der Grundgesamtheit nicht existiert.

2.6 Ethik- Kommission

Die Ethik- Kommission der Medizinischen Fakultät, Universitätsklinikum Tübingen hat der Studie zugestimmt (Projekt- Nummer 339/2006V)

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der prä- und posttherapeutischen Datenerhebung

3.1.1 VAS- Schmerzfragebogen

3.1.1.1 Erholung

In allen 3 Gruppen konnte nach 12 Wochen eine Verbesserung der Schmerzsymptomatik bzw. Abnahme der Einschränkung durch die Achillestendinopathie im Bereich der *Erholung* [mm]/VAS erreicht werden.

Tabelle 4: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Beeinflussung der *Erholung* hinsichtlich der Achillessehnenbeschwerden im Schmerzfragebogen. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ Zp 0 -12)

	ET	VT	WAS
N	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	19,5 +/- 21,14	26,18 +/- 27,48	22,93 +/- 23,81
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 17,5 - 75	0 - 20 - 92	0 - 17,5 - 72
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	6,28 +/- 10,56	14,23 +/- 20,43	11,64 +/- 16,22
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 0 - 35	0 -3 - 79	0 - 5,5 - 59
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	-13,22 +/- 18,78	-11,96 +/- 30,15	-11,29 +/- 23,83
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-52 - -13 - 19	-92 - -2,5 - 30	-63 - -8,5 - 25

Die festgestellten Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen ($p = 0,78$).

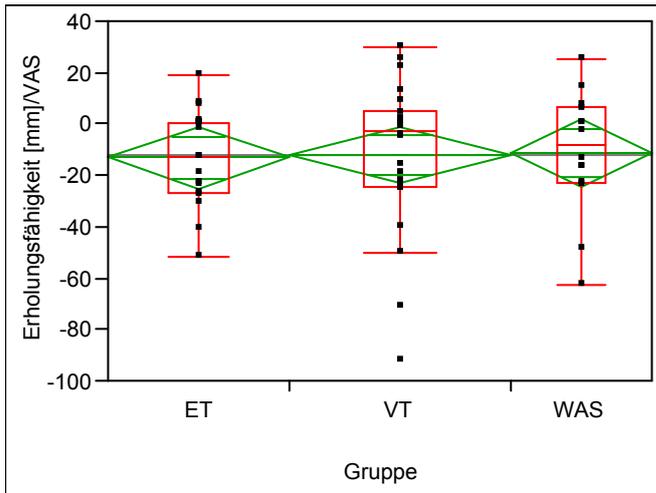


Abbildung 24: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen ($\Delta Zp0-12$) im Bereich der *Erholungsfähigkeit* [mm]/VAS

3.1.1.2 Familiäres Zusammenleben

Nur in den Trainingsgruppen konnte nach 12 Wochen eine Verbesserung im Bereich des *Familiären Zusammenlebens* [mm]/VAS erreicht werden.

Tabelle 5: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Beeinflussung des *Familiären Zusammenlebens* durch die Achillessehnenbeschwerden im Schmerzfragebogen. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten ($\Delta Zp 0 -12$)

	ET	VT	WAS
N	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	9,94 +/- 12,08	8,82 +/- 20,12	7,43 +/- 16,68
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 4,5 - 32	0 - 1,5 - 77	0 - 0 - 50
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	2,06 +/- 4,71	4 +/- 6,26	7,72 +/- 13,40
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 0 - 17	0 - 1 - 26	0 - 2,5 - 50
$\Delta Zp 0 - 12$ (Mw. +/- St.abw.)	- 7,89 +/- 11,74	- 4,82 +/- 17,31	0,28 +/- 15,44
$\Delta Zp 0 - 12$ (Min.- Med.-Max.)	-31 - -3 - 9	-62 - 0 - 10	-50 - 2 - 17

Die festgestellten Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen ($p = 0,32$).

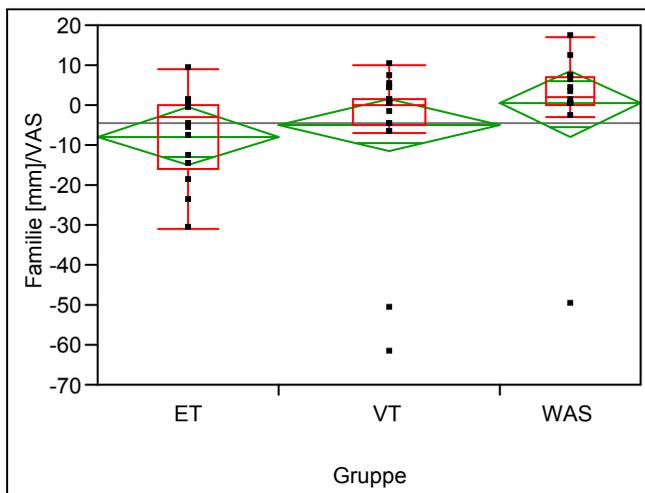


Abbildung 25: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen ($\Delta Zp0-12$) im Bereich des *Familiären Zusammenlebens* [mm/VAS]

3.1.1.3 Lauftraining

In allen drei Gruppen konnte nach 12 Wochen eine Verbesserung im Bereich der Beeinträchtigung des *Lauftrainings* [mm]/VAS durch die AT erreicht werden.

Tabelle 6: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Beeinflussung des *Lauftrainings* durch die Achillessehnenbeschwerden im Schmerzfragebogen. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten ($\Delta Zp0-12$)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	75,5 +/- 27,82	60,64 +/- 35,76	58,79 +/- 32,74
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 81 - 100	4 - 67 - 100	3 - 61,5 - 100
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	21 +/- 26,47	34,59 +/- 35,33	44 +/- 35,4
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 14,5 - 98	0 - 20,5 - 100	0 - 31,5 - 99
$\Delta Zp 0 - 12$ (Mw. +/- St.abw.)	-54,5 +/- 35,12	-26,05 +/- 37	-14,79 +/- 32,74
$\Delta Zp 0 - 12$ (Min.- Med.-Max.)	-100 - -63 - 3	-100 - -15 - 26	-97 - -2,5 - 31

Auffällig ist, dass die Gruppe mit ET- Training eine wesentlich größere Verbesserung zeigt als die anderen Gruppen (Tukey- Kramer Test $p < 0,05$)

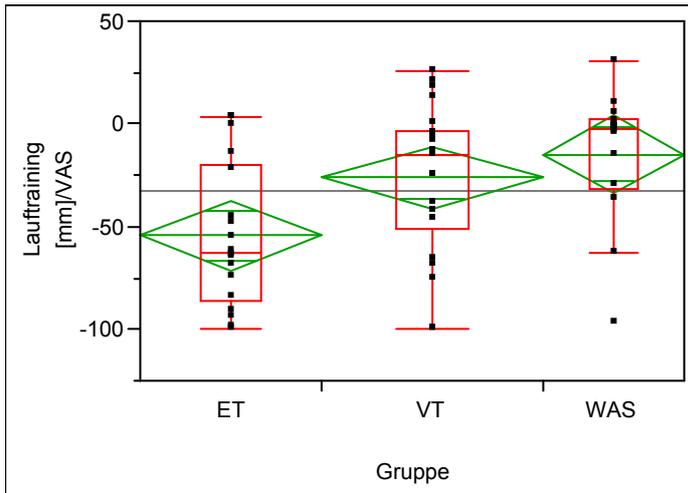


Abbildung 26: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (ΔZ_{p0-12}) im Bereich der Beeinträchtigung des *Lauftrainings* [mm/VAS]

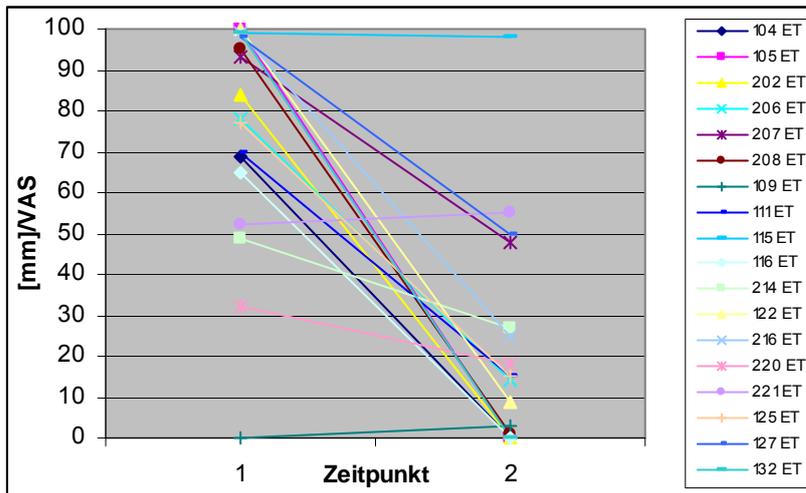


Abbildung 27: Beeinträchtigung des Lauftrainings in [mm]/VAS (Mittelwerte) in der *ET*- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wochen)

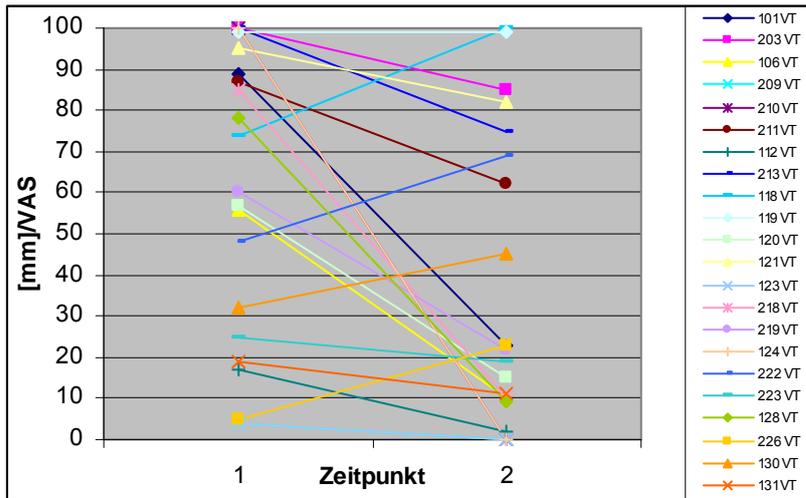


Abbildung 28: Beeinträchtigung des Lauftrainings in [mm]/VAS (Mittelwerte) in der VT- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wochen)

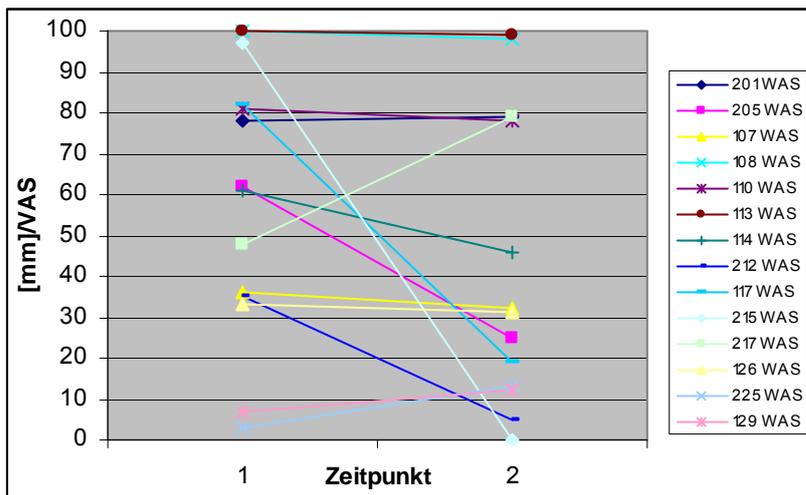


Abbildung 29: Beeinträchtigung des Lauftrainings in [mm]/VAS (Mittelwerte) in der WAS- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wochen)

3.1.1.4 Sonstige sportliche Aktivitäten

In den allen drei Gruppen konnte nach 12 Wochen eine Abnahme der Einschränkung durch die Achillesstendinopathie im Bereich *sonstiger sportlicher Aktivitäten* [mm]/VAS erreicht werden.

Tabelle 7: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Beeinflussung *sonstiger sportlicher Aktivitäten* durch die Achillessehnenbeschwerden im Schmerzfragebogen. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ Zp 0 -12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	52,28 +/- 31,24	43,82 +/- 35,07	37,29 +/- 28,62
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 49 - 99	0 - 41 - 100	0 - 37 - 100
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	10,22 +/- 12,65	22 +/- 25,73	22,64 +/- 29,66
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 1 - 38	0 - 14 - 85	0 - 8 - 79
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	-42,06 +/- 28,93	-21,82 +/- 31,47	-14,64 +/- 39,29
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-96 - -47,5 - 0	-84 - -11 - 22	-100 - -18,5 - 69

Die festgestellten Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen ($p = 0,079$).

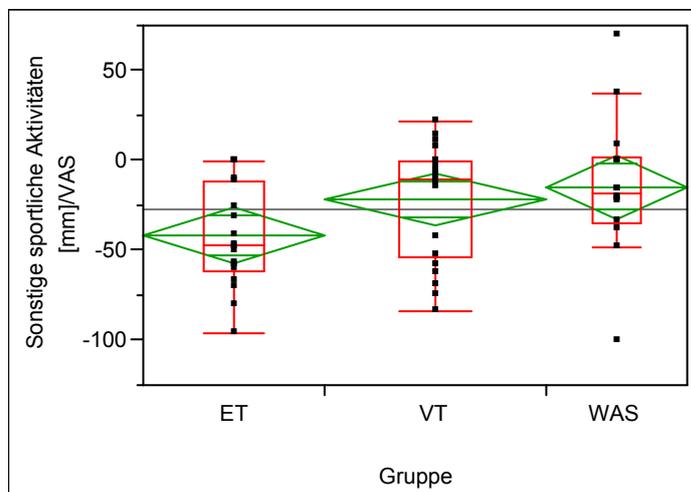


Abbildung 30: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (Δ Zp0-12) im Bereich *sonstiger sportlicher Aktivitäten* [mm/VAS]

3.1.1.5 Soziale Aktivitäten

In den Trainingsgruppen konnte nach 12 Wochen eine Verbesserung bzw. Abnahme der Einschränkung durch die Achillestendinopathie im Bereich der Beeinträchtigung *sozialer Aktivitäten* [mm]/VAS erreicht werden.

Tabelle 8: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Beeinflussung *sozialer Aktivitäten* durch die Achillessehnenbeschwerden im Schmerzfragebogen. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ Zp 0 -12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	9,56 +/- 16,21	6,1 +/- 13,19	1 +/- 1,47
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 0,5 - 53	0 - 1 - 60	0 - 0 - 4
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	0,67 +/- 1,68	3,41 +/- 7,21	4,07 +/- 5,7
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 0 - 7	0 - 0,5 - 26	0 - 1,5 - 19
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	-8,89 +/- 16,35	-2,68 +/- 10,48	3,07 +/- 5,89
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-53 - 0 - 2	-37 - 0 - 19	-4 - 0,5 - 19

Auffällig ist, dass die ET- Gruppe eine wesentlich größere Verbesserung als die WAS- Gruppe aufweist (Tukey- Kramer Test $p < 0,05$)

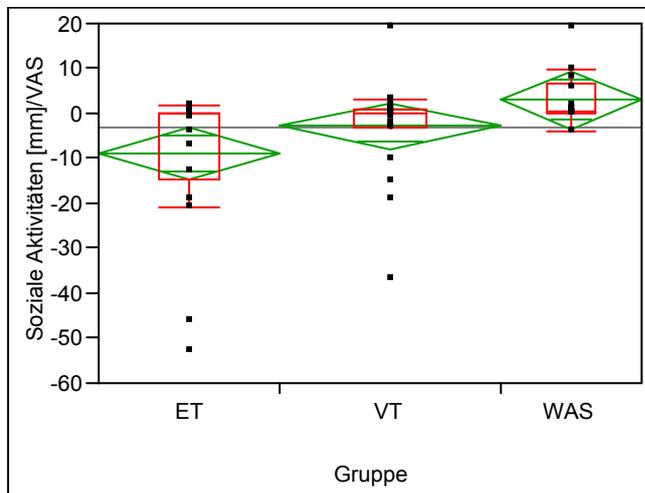


Abbildung 31: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (Δ Zp0-12) im Bereich sozialer Aktivitäten [mm/VAS]

3.1.2 Palpationsschmerz

3.1.2.1 Ossäre Insertion

In allen 3 Gruppen konnte eine Abnahme des Palpationsschmerzes an der *Ossären Insertion* der Achillessehne festgestellt werden.

Tabelle 9: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) des Palpationsschmerzes an der *Ossären Insertion* der Achillessehne. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St.abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ Zp 0 -12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	24,89 +/- 28,9	25,73 +/- 33,06	22,29 +/- 30,98
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 11 - 82	0 - 10 - 100	0 - 13,5 - 97
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	5,61 +/- 15,46	10,09 +/- 23,09	11,21 +/- 21,14
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 0 - 66	0 - 0 - 93	0 - 1,5 - 79
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	-19,28 +/- 27,35	-15,64 +/- 31,55	-11,07 +/- 24,1
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-82 - -7 - 2	-100 - -4 - 46	-84 - -1,5 - 11

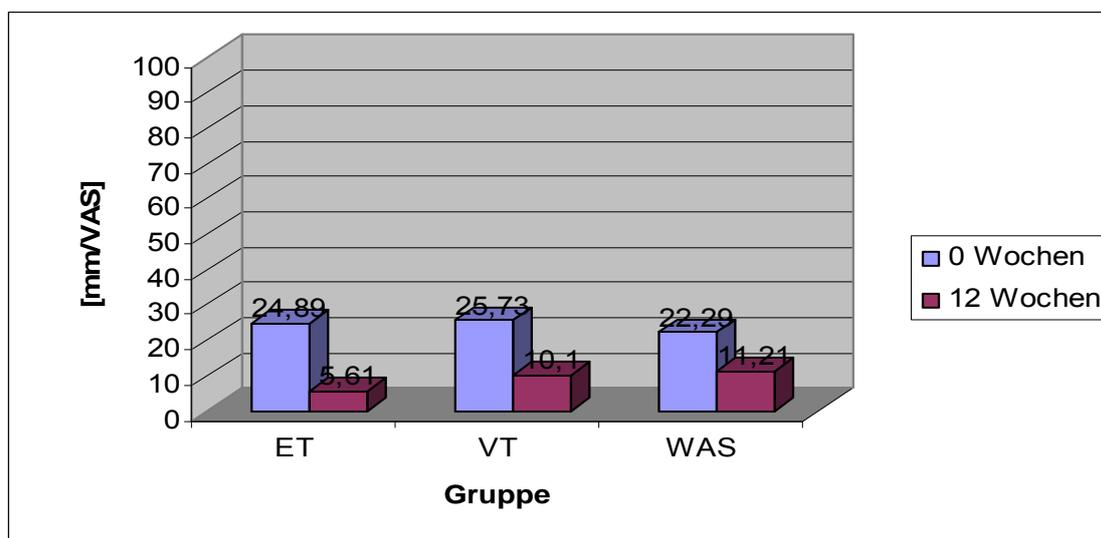


Abbildung 32: Gruppenvergleich des Palpationsschmerzes [mm/VAS] an der *Ossären Insertion* der Achillessehne zum Zeitpunkt 0 und 12 Wochen mit Angabe der Mittelwerte

Die festgestellten Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen ($p = 0,64$).

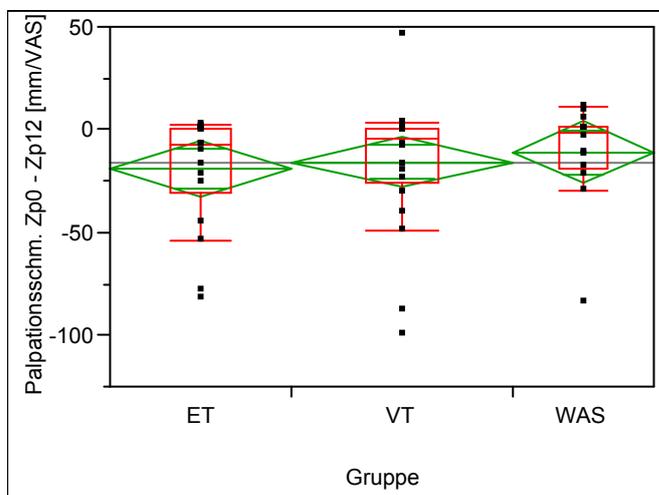


Abbildung 33: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des Palpationsschmerzes an der *Ossären Insertion* der Achillessehne [mm/VAS] zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (Zp 0 - Zp 12)

3.1.2.2 Sehnenmitte

In allen 3 Gruppen konnte nach 12 Wochen eine Abnahme des Palpationsschmerzes im mittleren Anteil der Achillessehne erreicht werden.

Tabelle 10: Gruppenvergleich des Palpationsschmerzes [mm/VAS] im *mittleren Anteil* der Achillessehne. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ Zp 0 -12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	69,5 +/- 34,53	71,68 +/- 33,25	60,64 +/- 28,22
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	2 - 82,5 - 100	16 - 91 - 100	12 - 71,5 - 98
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	23,17 +/- 28,25	32,5 +/- 29,59	49,14 +/- 31,28
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 14 - 100	0 - 33 - 100	5 - 46 - 100
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	-46,33 +/- 36,21	-39,18 +/- 40,52	-11,5 +/- 25,18
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-100 - -56,5 - 38	-100 - -30,5 - 52	-53 - -6 - 23

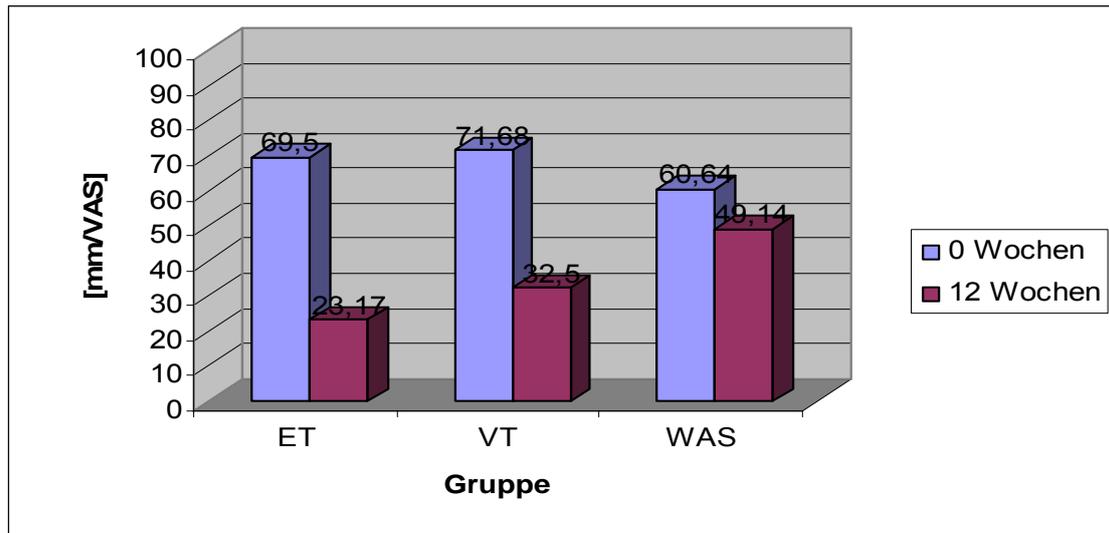


Abbildung 34: Gruppenvergleich des Palpationsschmerzes [mm/VAS] im *mittleren Anteil* der Achillessehne zum Zeitpunkt 0 und 12 Wochen mit Angabe der Mittelwerte

Die ET- Gruppe wies eine wesentlich stärkere Verbesserung als die WAS-Gruppe aufweist (Tukey- Kramer Test $p < 0,05$).

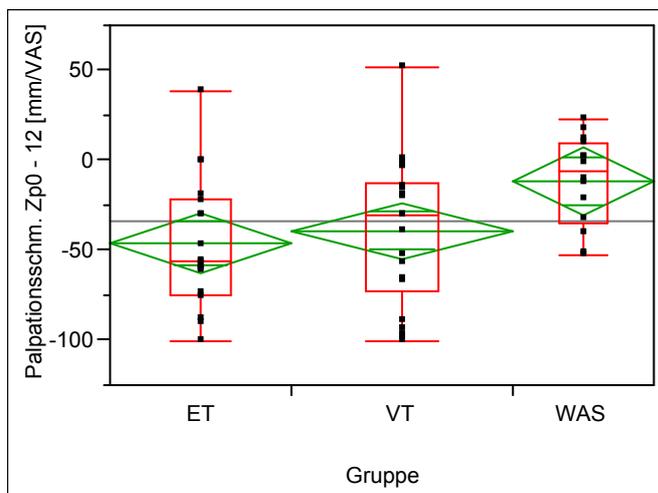


Abbildung 35: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des Palpationsschmerzes im *mittleren Anteil* der Achillessehne [mm/VAS] zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (Zp 0 - Zp 12)

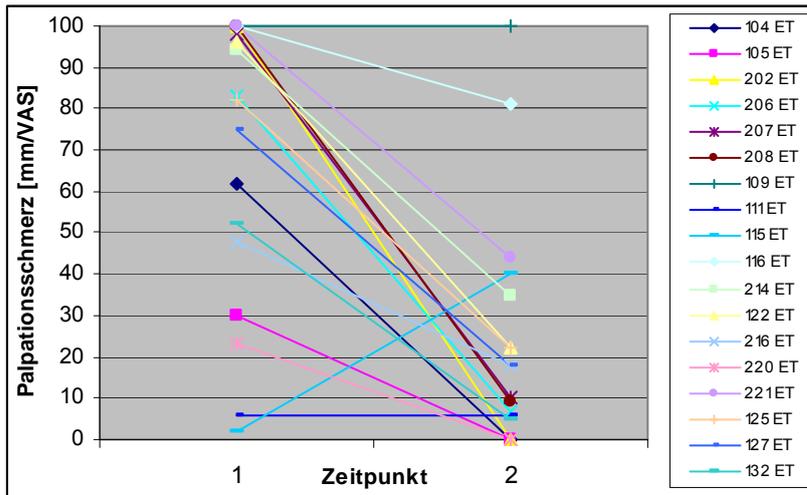


Abbildung 36: Palpationsschmerz [mm/VAS) im mittleren Anteil der Achillessehne (Mittelwerte) in der ET- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wo.)

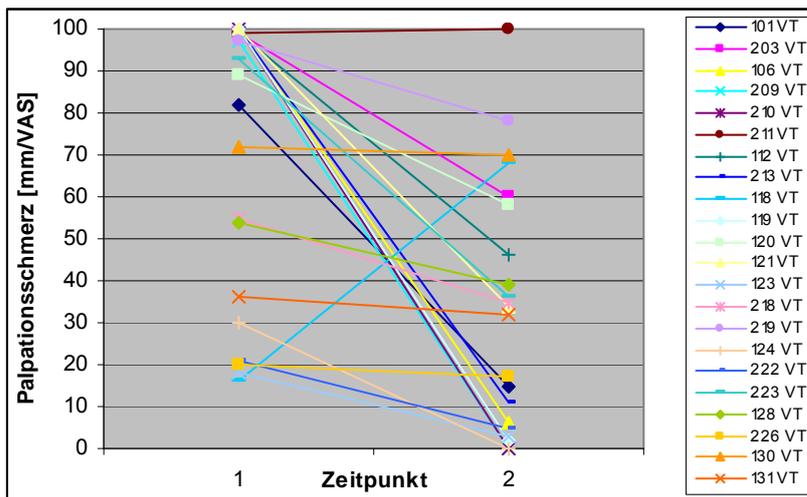


Abbildung 37: Palpationsschmerz [mm/VAS) im mittleren Anteil der Achillessehne (Mittelwerte) in der VT- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wo.)

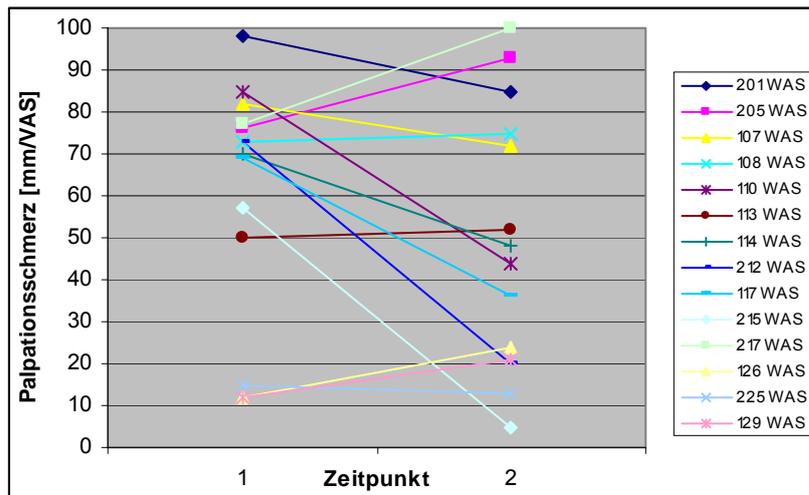


Abbildung 38: Palpationsschmerz [mm/VAS] im mittleren Anteil der Achillessehne (Mittelwerte) in der WAS- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wo.)

3.1.2.3 Tendo- muskulärer Übergang

Nur in der ET- Gruppe kam es zu einer Verbesserung im Befund. Die VT- Gruppe veränderte sich kaum. Die WAS- Gruppe verschlechterte sich innerhalb der 12 Wochen.

Tabelle 11: Gruppenvergleich des Palpationsschmerzes [mm/VAS] im tendo-muskulären Anteil der Achillessehne. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) in [mm] auf der VAS- Skala (0-100) zu den Zeitpunkten 0 (Zp 0), 12 Wochen (Zp12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ Zp0-12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	49,56 +/- 35,25	34,82 +/- 31,62	18,36 +/- 24,08
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	0 - 51,5 - 99	0 - 30,5 - 100	0 - 7 - 80
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	16,67 +/- 24,71	34,55 +/- 35,02	31,86 +/- 25,52
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	0 - 8 - 100	0 - 32 - 100	0 - 26 - 100
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	-32,89 +/- 34,47	-0,27 +/- 42,27	13,5 +/- 39,35
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-90 - -37,5 - 30	-99 - -1 - 76	-45 - 13 - 97

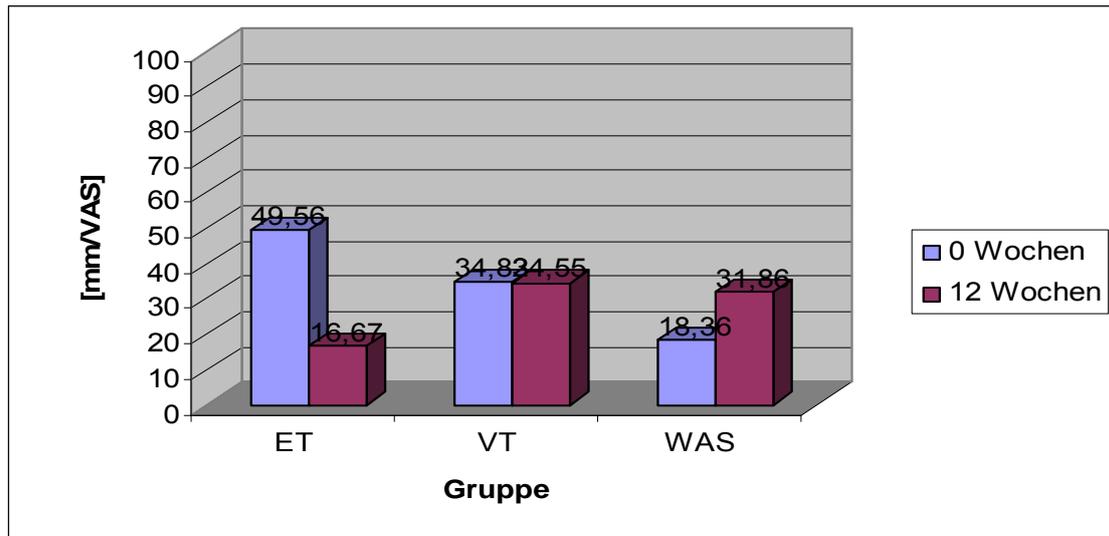


Abbildung 39: Gruppenvergleich des Palpationsschmerzes [mm/VAS] im *tendo- muskulären Anteil der Achillessehne* zum Zeitpunkt 0 und 12 Wochen mit Angaben der Mittelwerte

Auffällig ist, dass die Gruppe mit ET- Training eine wesentlich stärkere Verbesserung zeigt als die anderen Gruppen (Tukey- Kramer Test $p < 0,05$).

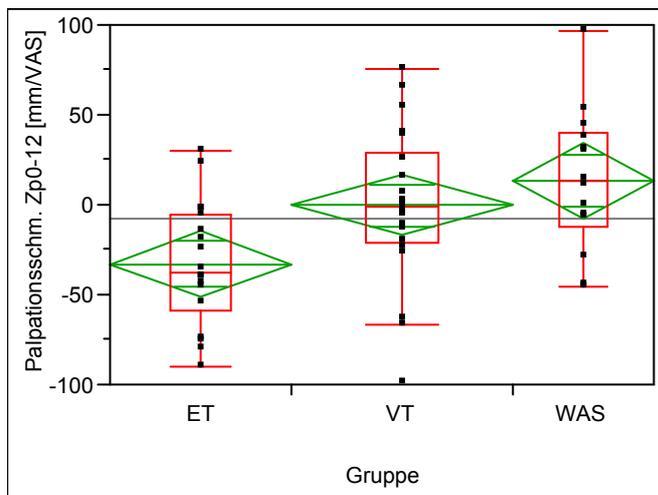


Abbildung 40: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des Palpationsschmerzes am *tendo- muskulären Anteil der Achillessehne* [mm/VAS] zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (Zp 0 - Zp 12)

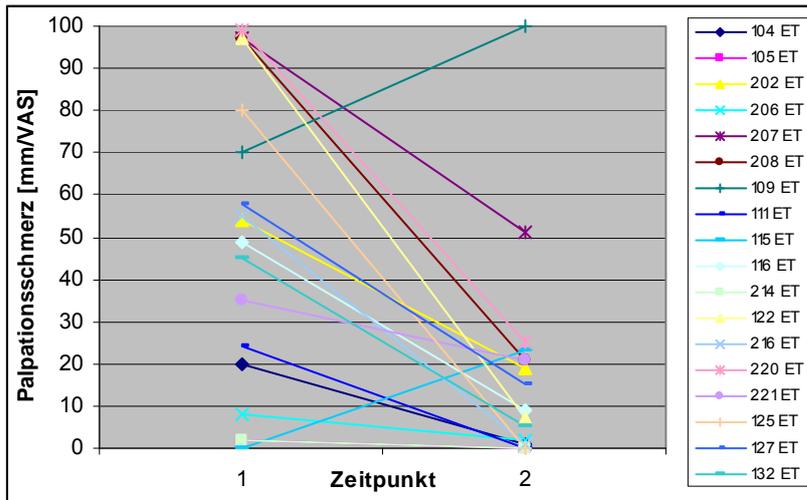


Abbildung 41: Palpationsschmerz [mm/VAS] am tendo- muskulären Anteil der Achillessehne (Mittelwerte) in der ET- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wochen)

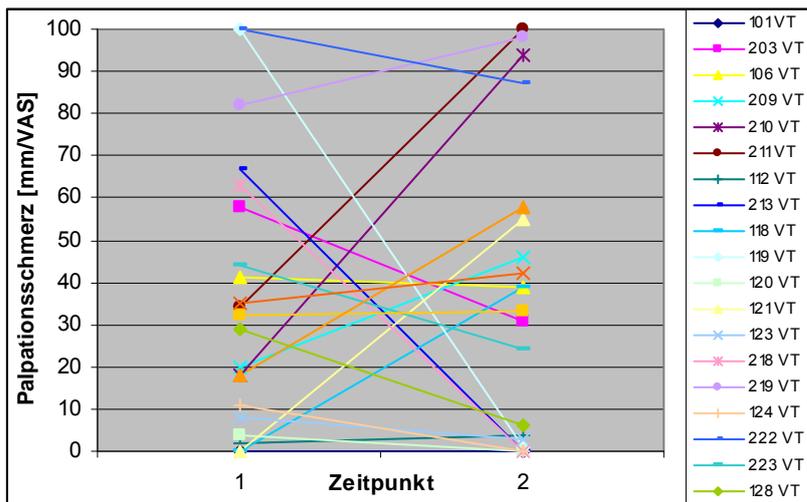


Abbildung 42: Palpationsschmerz [mm/VAS] am tendo- muskulären Anteil der Achillessehne (Mittelwerte) in der VT- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0 Wochen) und 2 (12 Wochen)

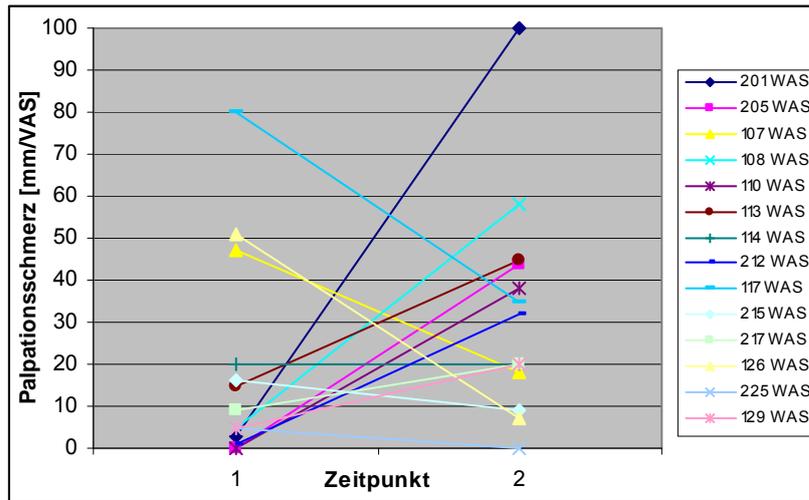


Abbildung 43: Palpationsschmerz [mm/VAS] am tendo- muskulären Anteil der Achillessehne (Mw.) in der WAS- Gruppe (jedes einzelnen Probanden) zum Zeitpunkt 1 (0) und 2 (12 Wochen)

3.1.3 Ultraschallmessung

3.1.3.1 Inhomogenitäten am Sehnenansatz

In der VT- Gruppe war nach zwölf Wochen bei fünf von acht Probanden (=62,5%) der Befund nicht mehr nachweisbar. In der ET- Gruppe konnte keine Veränderung des Ausgangsbefundes festgestellt werden. Zwei von drei Teilnehmern (= 66,6%) der WAS- Gruppe wiesen eine Verbesserung des Befundes auf. Bei drei von elf Probanden (= 27,3%) kam es zu einer Verschlechterung im Befund. (Fisher- Exact- Test $p = 0,08$)

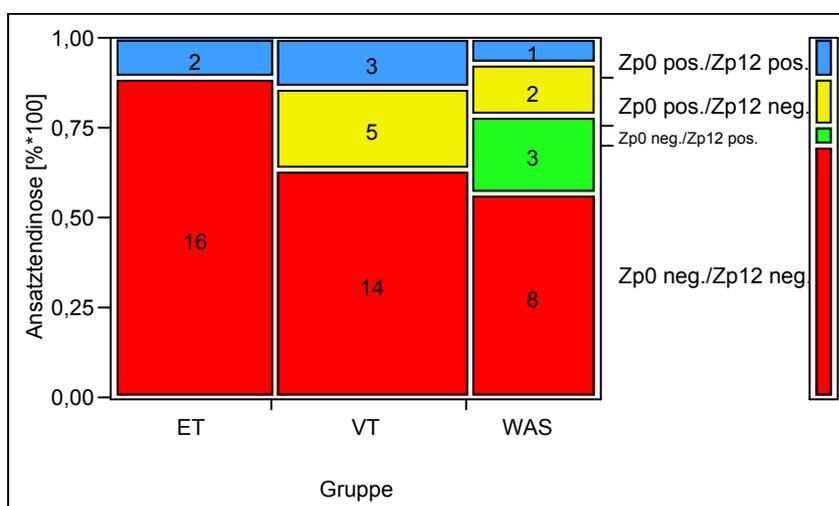


Abbildung 44: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes am *Ansatz der Achillessehne*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.3.2 Inhomogenitäten im Sehnenverlauf

Alle drei Gruppen, vor allem das VT, konnten Verbesserungen im US- Befund nachweisen. In der VT- Gruppe war bei elf von 19 Probanden (= 57,9%) eine Verbesserung des Befundes nachweisbar. Sechs der 14 Probanden (= 42,9%) mit positivem Befund in der ET- Gruppe zum Zeitpunkt 0 wiesen nach zwölf Wochen eine Verbesserung auf. In der WAS- Gruppe wurde bei nur drei von elf Probanden (= 27,3%) eine Verbesserung festgestellt (Verschlechterung: 1/3 = 33,3%). (Fisher- Exact- Test $p = 0,24$)

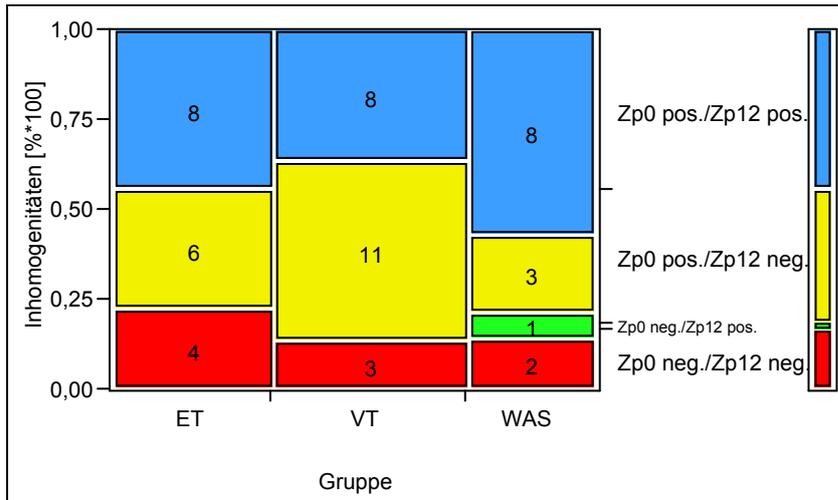


Abbildung 45: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes von *Inhomogenitäten im Sehnenverlauf*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.3.3 Verdickung

Alle drei Gruppen wiesen Verbesserungen im Befund auf. Bei sieben von 20 Probanden (= 35%) der VT- Gruppe kam es zu einer Verbesserung im Befund, in der ET- Gruppe bei fünf von 15 (=33,3%) und in der WAS- Gruppe bei drei von 12 Teilnehmern (= 25%). (Fisher- Exact- Test $p = 0,93$)

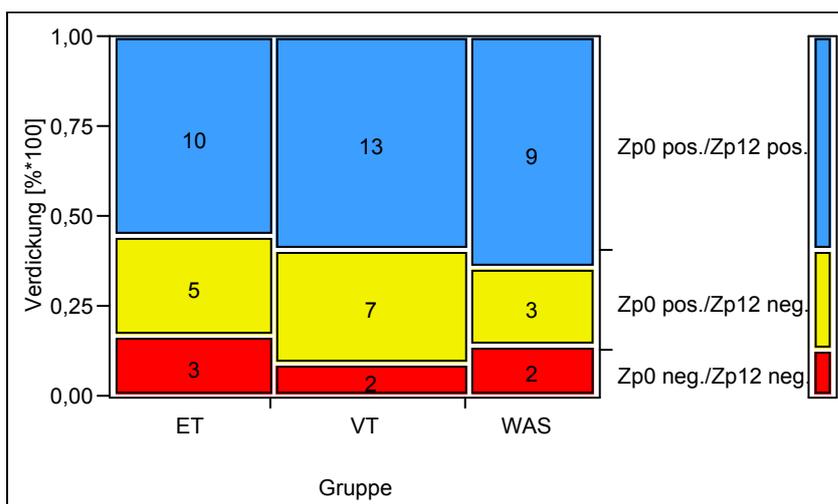


Abbildung 46: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes einer *Verdickung im Sehnenverlauf*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.3.4 Bursitis

Alle drei Gruppen wiesen Verbesserungen im Befund auf. Acht von zehn Probanden (=80%) der VT- Gruppe wiesen Verbesserungen im Befund auf. In der ET- Gruppe kam es bei vier von fünf Probanden (= 75%) zu einer Verbesserung (Verschlechterung: 2/13 = 15,4%). Die WAS- Gruppe wies bei drei von vier Probanden (= 75%) eine Verbesserung auf (Verschlechterung: 2/10 = 20%). (Fisher- Exact- Test $p = 0,58$)

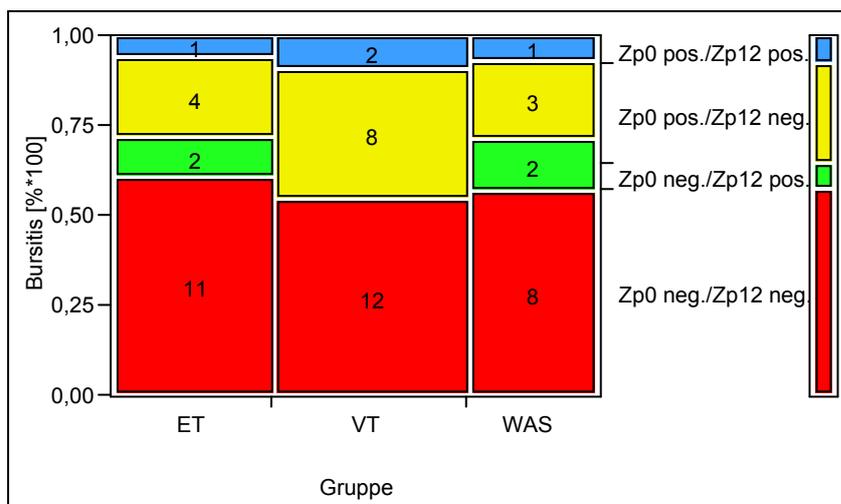


Abbildung 47: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes einer *Bursitis subachillea*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.3.5 Paratendinose

Alle drei Gruppen wiesen Verbesserungen im Befund auf. In der VT- Gruppe war nach zwölf Wochen bei zehn von zwölf Probanden (= 83,3%) keine Paratendinose mehr im Ultraschallbefund sichtbar (Verschlechterung: 1/10 = 10%). Sechs von neun Probanden (= 66,6%) der ET- Gruppe wiesen eine Verbesserung auf (Verschlechterung: 3/9 = 33,3%). Die WAS- Gruppe wies bei vier von acht Probanden (= 50%) eine Verbesserung auf (Verschlechterung: 3/6 = 50%). (Fisher- Exact- Test $p = 0,59$)

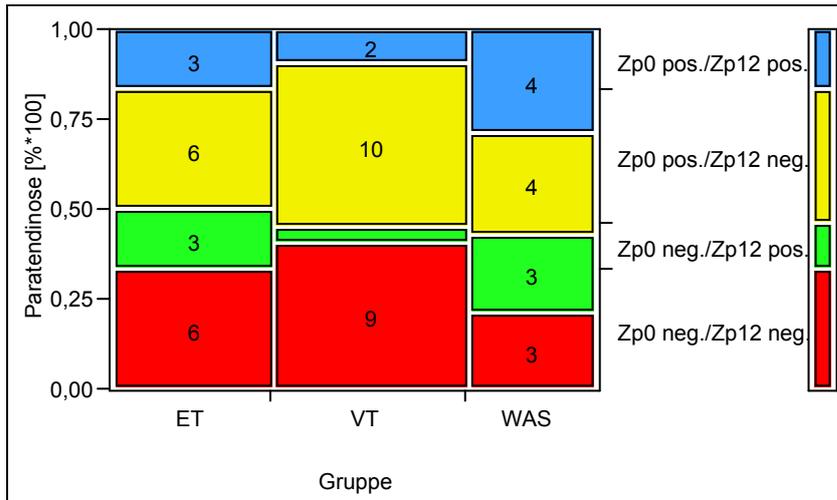


Abbildung 48: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes einer *Paratendinose*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.3.6 Tendinitis

Alle 3 Gruppen wiesen Verbesserungen im Befund auf. Sieben von zwölf Probanden (= 58,3%) der *VT- Gruppe* war der Befund nach zwölf Wochen im Ultraschall nicht mehr nachzuweisen. In der *ET- Gruppe* kam es bei sieben von acht Probanden (= 87,5%) zu einer Verbesserung. Die *WAS- Gruppe* wies bei zwei von vier Probanden (=50%) eine Verbesserung im Befund auf (Verschlechterung: 2/10 =20%). (Fisher- Exact- Test $p = 0,34$)

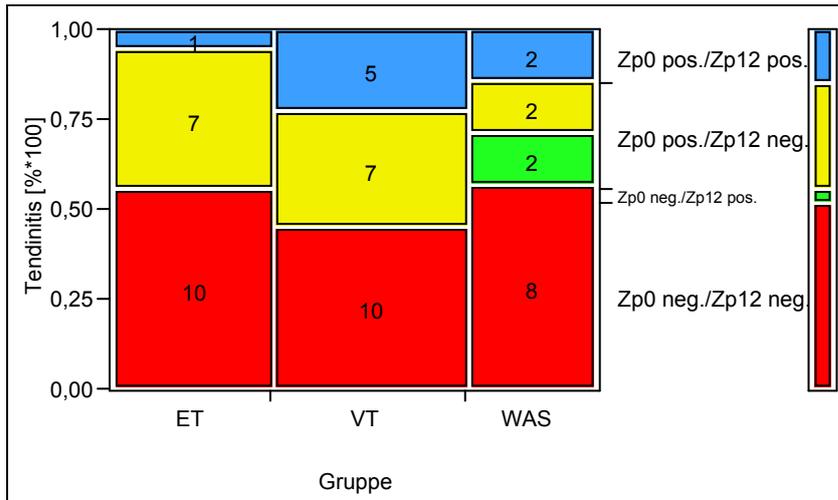


Abbildung 49: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes einer *Tendinitis*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.3.7 Verkalkung

Nach 12 Wochen war in der *VT- und ET- Gruppe* keine Veränderung des Befundes feststellbar. Nur in der *WAS- Gruppe* kam es bei einem Proband (= 7,14%) zu einer Verbesserung. (Fisher- Exact- Test $p = 0,26$)

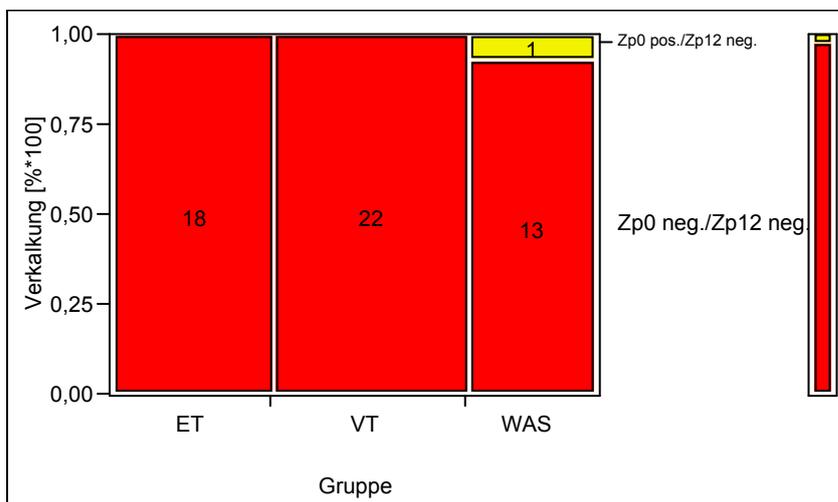


Abbildung 50: Gruppenvergleich der Häufigkeitsverteilungen anhand der Kontingenzanalyse des Ultraschallbefundes einer *Verkalkung im Sehnenverlauf*. Innerhalb der Zellen sind die jeweilige Anzahl der Probanden pro Gruppe angegeben. Zp0 = Zeitpunkt 0 Wo.; Zp12 = 12 Wo.; „pos.“ = positiver Befund; „neg.“ = negativer bzw. nicht vorhandener Befund

3.1.4 Isokinetische Messung

3.1.4.1 Exzentrische Plantarflexion bei 20°/Sekunde

Alle 3 Gruppen wiesen eine Zunahme des maximalen Drehmoments PTmax in der exzentrischen Plantarflexion auf (ET:+7,51%; VT:+10,55%; WAS:+1,65%).

Die festgestellten Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen ($p = 0,16$).

Tabelle 12: Gruppenvergleich des max. Drehmoments PTmax [Nm] in der *exzentrischen Plantarflexion*. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) zu den Zeitpunkten 0, 12 Wochen (Zp 0 und 12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ 0 -12)

	ET	VT	WAS
N	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	155,33 +/- 39,69	174,05 +/- 50,48	173,07 +/- 56,23
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	106 -146,5 - 240	106 - 168 - 300	78 - 172 - 280
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	167 +/- 39,39	192,41 +/- 56,69	175,93 +/- 55,99
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	117 - 159,5 - 262	97 -193,5 - 301	96 - 161,5 - 186
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	11,67 +/- 23,94	18,36 +/- 22,02	2,86 +/- 24,03
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-33 - 12 - 71	-18 - 23,5 - 64	-48 - 5 - 39

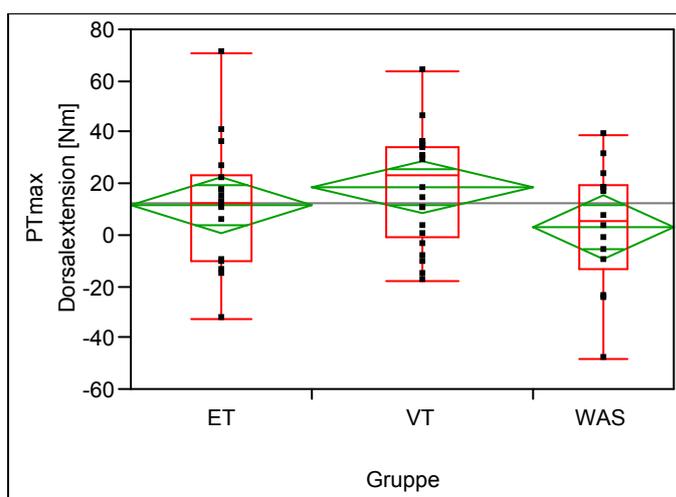


Abbildung 51: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des maximalen Drehmoments (PTmax) in der *exzentrischen Plantarflexion* [Nm] zwischen Zp 0 und 12 Wochen (Δ Zp0-12)

3.1.4.2 Konzentrische Plantarflexion 60°/Sekunde

In allen 3 Gruppen, vor allem der VT- Gruppe, wurde eine Zunahme des maximalen Drehmoments (PTmax) in der konzentrischen Plantarflexion festgestellt (ET: +12,46 %; VT: +15 %; WAS: +6,74 %). Die Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen (p = 0,27).

Tabelle 13: Gruppenvergleich des maximalen Drehmoments (PTmax) [Nm] in der *konzentrischen Plantarflexion*. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) zu den Zeitpunkten 0, 12 Wochen (Zp 0 und 12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ 0 -12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	85,56 +/- 20,97	92,14 +/- 25,72	94,57 +/- 28,63
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	57 - 83 - 142	49 - 96 - 141	45 - 90,5 - 138
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	96,22 +/- 27,20	105,86 +/- 29,67	100,93 +/- 28,93
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	63 - 89 - 169	57 -108 - 159	49 - 103,5 - 159
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	10,67 +/- 12,61	13,73 +/- 13,25	6,36 +/- 13,59
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-12 - 10,5 - 38	-8 - 13 - 40	-15 - 4,5 - 27

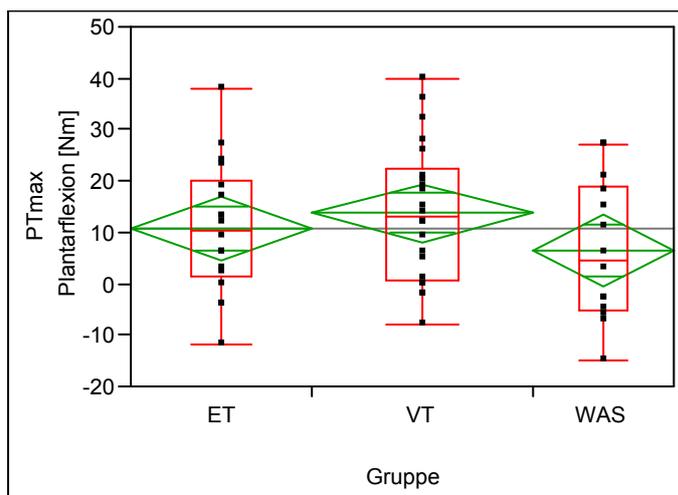


Abbildung 52: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des maximalen Drehmoments (PTmax) in der *konzentrischen Plantarflexion* [Nm] zwischen Zp 0 und 12 Wochen (Δ Zp0-12)

3.1.4.3 Range of motion (ROM) – Flexibilitätsmessung

In allen 3 Gruppen konnte eine Zunahme des ROM bzw. Abnahme des dPRT [Nm] nach Studienende festgestellt werden (ET: -16,12%; VT: -11,63%; WAS: -5,53%). Die Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen ($p = 0,28$).

Tabelle 14: Gruppenvergleich des dPRT 0-25° [Nm]. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) zu den Zeitpunkten 0, 12 Wochen (Zp 0 und 12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten ($\Delta 0 -12$)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw +/-St.abw.)	19,67 +/- 5,51	19,86 +/- 6,67	20,79 +/- 6,82
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	9 - 19,5 - 29	7 - 20,5 - 30	11 - 20,5 - 30
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	16,5 +/- 5,15	17,55 +/- 7,28	19,64 +/- 6,43
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	7 - 16 - 29	3 -18 - 29	10 – 21,5 - 28
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	- 3,17 +/- 3,62	- 2,32 +/- 3,70	- 1,14 +/- 2,96
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-9 - -2 - 2	-7 - -3 - 7	-7 - -1 - 5

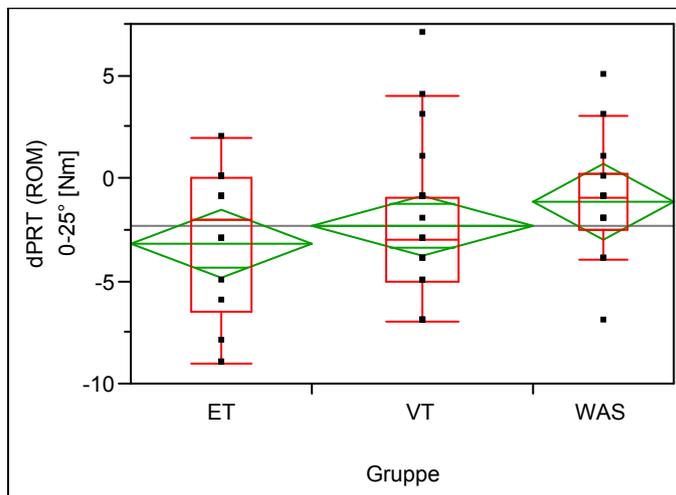


Abbildung 53: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des ROM bzw. dPRT 0-25° [Nm] zwischen Zeitpunkt 0 und 12 Wochen (Δ Zp0-12)

3.1.4.4 Konzentrische Dorsalflexion 60°/Sekunde

In allen 3 Gruppen, vor allem der VT- Gruppe, wurde eine Zunahme des maximalen Drehmoments (PTmax) in der Dorsalflexion festgestellt (ET:+6,80%; VT:+11,08%; WAS: +7,30%). Die festgestellten Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich in unserer Population jedoch statistisch nicht nachweisen (p = 0,59).

Tabelle 15: Gruppenvergleich des maximalen Drehmoments (PTmax) [Nm] in der *konzentrischen Dorsalflexion*. Angabe von Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.) zu den Zeitpunkten 0, 12 Wochen (Zp 0 und 12) und die Differenz zwischen den Zeitpunkten (Δ 0 -12)

	ET	VT	WAS
n	18	22	14
Zp 0 (Mw. +/-St.abw.)	23,67 +/- 6,50	24,55 +/- 9,35	23,43 +/- 6,62
Zp 0 (Min.- Med.- Max.)	12 - 23 - 39	12 - 23,5 - 43	13 - 22 - 39
Zp 12 (Mw. +/-St.abw.)	25,28 +/- 7,27	27,27 +/- 8,84	25,14 +/- 8,85
Zp 12 (Min.- Med.- Max.)	15 - 24,5 - 42	15 -29 - 43	13 - 22 - 43
Δ Zp 0 – 12 (Mw. +/- St.abw.)	1,61 +/- 4,10	2,73 +/- 3,19	1,71 +/- 4,18
Δ Zp 0 – 12 (Min.- Med.-Max.)	-6 - 2 - 14	-2 - 3 - 9	-5 - 2,5 - 9

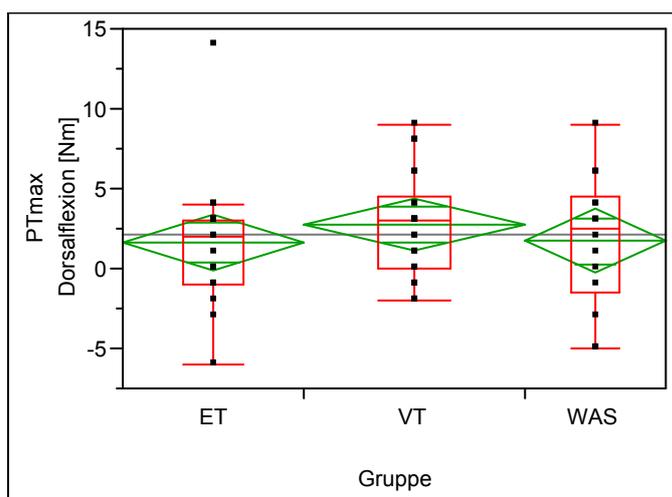


Abbildung 54: Gruppenvergleich der Mittelwerte der Differenzen des maximalen Drehmoments (PTmax) in der *konzentrischen Dorsalflexion* [Nm] zwischen Zp 0 und 12 Wochen (Zp0-12)

3.2 Ergebnisse der posttherapeutischen Datenerhebung

3.2.1 Trainings- Compliance

Anhand eines Trainingstagebuchs führten die Probanden (und der Studienuntersucher) Protokoll über die von Ihnen absolvierten Trainingseinheiten (TE), um somit die Trainingscompliance zu bestimmen, die sich aus TE/Woche ergab. Beide Gruppen sollten gleichviel Trainingseinheiten absolvieren. Die VT-Gruppe hatte jedoch durchschnittlich 2,17 und die ET- Gruppe 3,26 TE pro Woche absolviert (Differenz: 1,10 TE/Woche). (t-Test für 2 unverbundene Stichproben, $p < 0,0001$)

Tabelle 16: Gruppenvergleich der absolvierten Trainingseinheiten pro Woche [TE/Woche]. Angabe des Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.).

	ET	VT
Anzahl Probanden (N)	18	22
TE (Mw. +/-St.abw.)	3,26 +/- 0,92	2,17 +/- 0,42
TE (Min.- Med.- Max.)	1,88 - 2,97 - 5,48	1,22 - 2,31 - 2,72

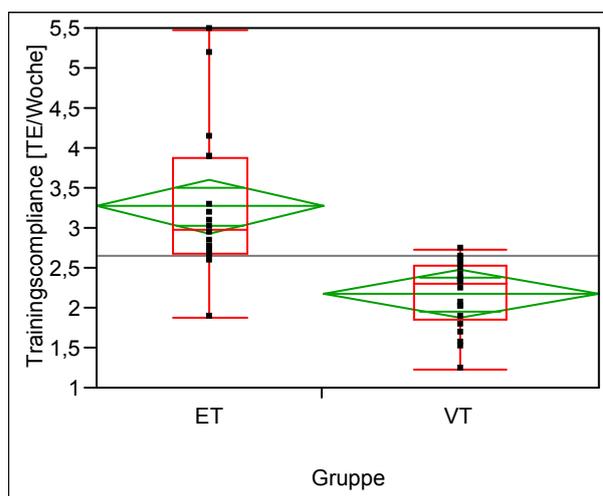


Abbildung 55: Trainingsgruppenvergleich der Mittelwerte der Trainingscompliance [TE/Woche]

3.2.2 Befragung zu den Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme

Die Probanden wurden zum Ende Ihrer Studienteilnahme anhand einer Likert-Skala (Ordinalskala) nach Ihren Beschwerden gefragt. Dabei gab es in *keiner* Gruppe Teilnehmer, die Ihre Beschwerden leicht verschlechtert bzw. verschlechtert empfanden. Die ET- Gruppe schnitt vergleichsweise am besten ab. Alle Probanden hatten unveränderte (ET: 0%; VT: 13,6%; WAS: 64,3%), leicht verbesserte (ET: 16,7%; VT: 9,1%; WAS: 7,1%) oder verbesserte (ET: 83,3%; VT: 77,3%; WAS: 28,6%) Beschwerden.

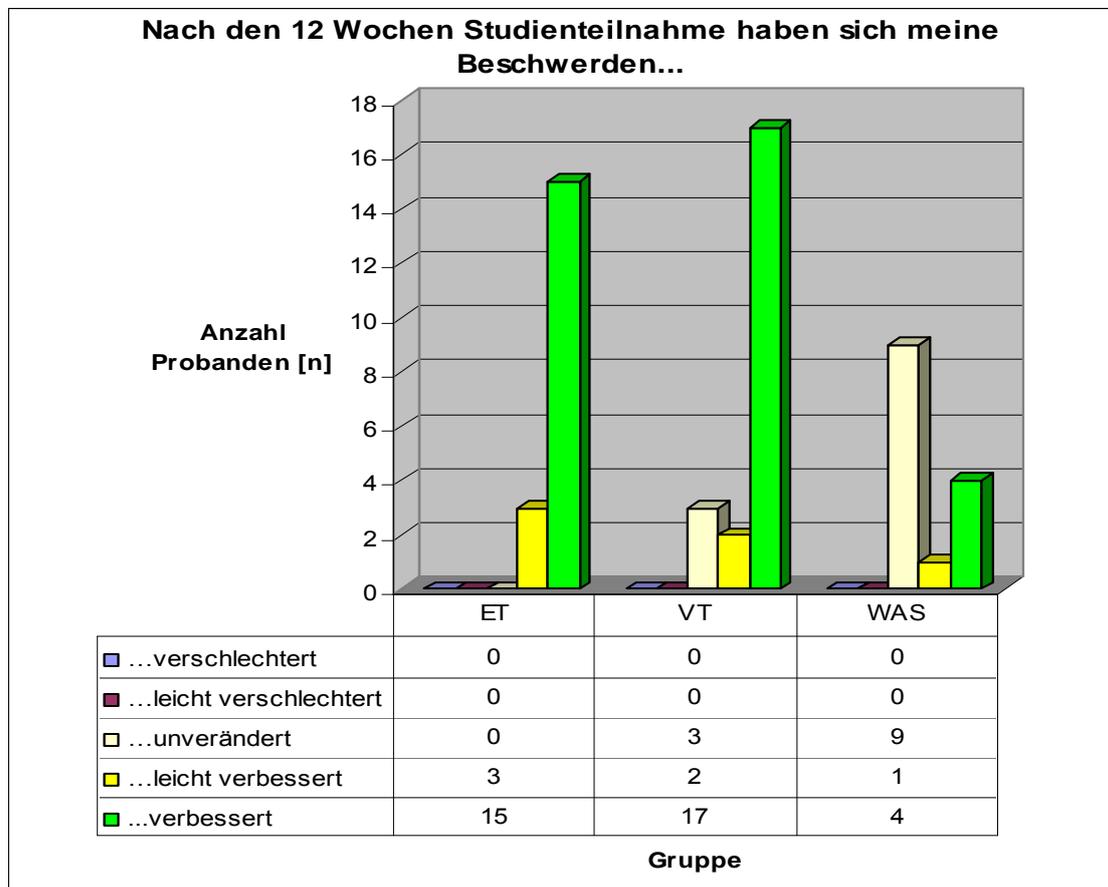


Abbildung 56: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] des Beschwerdeempfinden nach 12 Wochen Studienteilnahme anhand eines Säulendiagramms mit zugehöriger Datentabelle

3.3 Ergebnisse der prätherapeutischen Datenerhebung

3.3.1 Anamnese

3.3.1.1 Schmerz

Viele Probanden hatten zu Beginn der Studie Achillessehenschmerzen bei Belastung (ET: 55,6%; VT: 45,5%; WAS: 57,1%) und typischerweise in den Morgenstunden (ET: 83,3%; VT: 90,9%; WAS: 78,6%). Zudem gaben die Probanden an, dass diese sich allmählich entwickelten (ET: 66,7%; VT: 77,3%; WAS: 71,4%).

Tabelle 17: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Häufigkeitsverteilungen in der Befragung nach dem *Zeitpunkt des Auftretens der Schmerzen* zum Zeitpunkt 0

	ET	VT	WAS
Anzahl Probanden (N)	18	22	14
Bei Belastung	10	10	8
Nach Belastung	7	6	5
In Ruhe	2	0	1
Morgens	15	20	11
Mittags	1	0	0
Abends	0	0	0
Allmählich	12	17	10
Akut	6	5	4
Traumatisch bedingt	1	1	1

Der Zeitpunkt an dem die Achillessehenschmerzen erstmalig auftraten lag zwischen den Gruppen unterschiedlich weit zurück ($p = 0,36$). Die Teilnehmer der VT- Gruppe hatten zu Beginn der Studie durchschnittlich schon seit 39,57 Monaten bestehende Beschwerden an der Achillessehne (ET: 41,33 Monate). In der WAS- Gruppe bestanden die Schmerzen mit 59 Monaten vergleichsweise am längsten.

Tabelle 18: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) des *Zeitpunktes, an dem die Beschwerden [Monate] erstmalig auftraten*. Angabe des Mittelwert (Mw.), Standardabweichung (St. abw.), Minimum (Min.), Median (Med.) und Maximum (Max.).

	ET	VT	WAS
Anzahl Probanden (N)	18	22	14
Monate (Mw. +/-St.abw.)	41,33 +/- 44,89	39,57 +/- 59,02	59 +/- 63,65
Monate (Min.- Med.- Max.)	6 - 27 - 180	6 - 18 - 240	10 - 30 - 210

3.3.1.2 Therapie

Pat. gaben an womit ihre Beschwerden vor Studienbeginn therapiert wurden: Salben (ET: 44,4%; VT:50%; WAS: 35,7%), Einlagen (ET: 83,3%; VT: 40,9%; WAS: 50%), Physio- (ET: 55,6%; VT: 22,7%; WAS: 50%) u./od. Physikalische Therapie (Kryo-, Wärme-, US- Therapie) (ET: 33,3%; VT: 27,3%; WAS: 28,6%).

Tabelle 19: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) der Häufigkeitsverteilungen zu *bisherigen Therapien* bis 4 Wochen vor Studienbeginn (zum Zeitpunkt 0)

	ET	VT	WAS
Anzahl Probanden (N)	18	22	14
Salben (Voltaren)	8	11	5
Schuheinlagen	15	9	7
Physiotherapie	10	5	7
Physikalische Therapie	6	6	4
Akupunktur	1	0	0
Cortisoninjektion	1	0	1
Stretching	1	1	1
Kühlung (Eis)	1	0	0
Stoßwellentherapie	0	1	0
Bestrahlung	0	1	0
NSAID (dauernd)	0	0	0
NSAID (bei Bedarf)	0	1	0

3.3.1.3 Training

Bisherige Trainingsgewohnheiten der Prob.: Seit 10 (ET- Gruppe) bzw. 13,8 (WAS- Gruppe) und 15,3 (VT- Gruppe) Jahren führten diese ein Lauftraining, im Schnitt 1,5- bis 2-mal in einem Umfang von ca. 15 km pro Woche durch.

Tabelle 20: Gruppenvergleich (ET, VT, WAS) *bisheriger Trainingsgewohnheiten*

	ET	VT	WAS
Anzahl Probanden (N)	18	22	14
Trainingsjahre [Jahre]	10	15,3	13,8
Lauftraining [Anzahl]	12	15	11
Laufpensum [km/Woche]	15,2	15	17,2
Laufeinheiten [TE/Woche]	1,7	1,7	1,8
Laufzeit [Std./Woche]	1,6	1,8	1,9
Andere Sportarten [Anzahl]	11	13	5
Trainingszeit [Std./Woche]	1,6	1,6	1
Trainingseinheiten [TE/Woche]	1,2	1,3	0,9
Badminton [Anzahl]	1	1	0
Tennis [Anzahl]	2	1	0
Nordic Walking [Anzahl]	4	4	1
Fitnessstraining [Anzahl]	1	2	1
Schwimmen [Anzahl]	1	1	1
Fußball [Anzahl]	1	1	1
Wandern [Anzahl]	0	2	1
Radfahren [Anzahl]	3	3	1
Volleyball [Anzahl]	0	2	0
Handball [Anzahl]	1	0	0
Hundetraining [Anzahl]	0	0	1
Klettern [Anzahl]	0	1	0

3.3.2 Orthopädische Untersuchung

3.3.2.1 Beinachse

Es war keine Achsabweichung (ET: 44,4%; VT: 31,8%; WAS: 42,9%), ein Genu valgus (ET: 33,3%; VT: 40,9%; WAS: 28,6%) bzw. varum (ET: 22,2%; VT: 27,3%; WAS: 28,6%) der Beine zu diagnostizieren. Ein Genu recurvatum war bei wenigen Probanden vorhanden (ET: 11,1%; VT: 9,1%; WAS: 7,1%). Die Probanden konnten auch eine Kombination dieser Fehlstellungen haben.

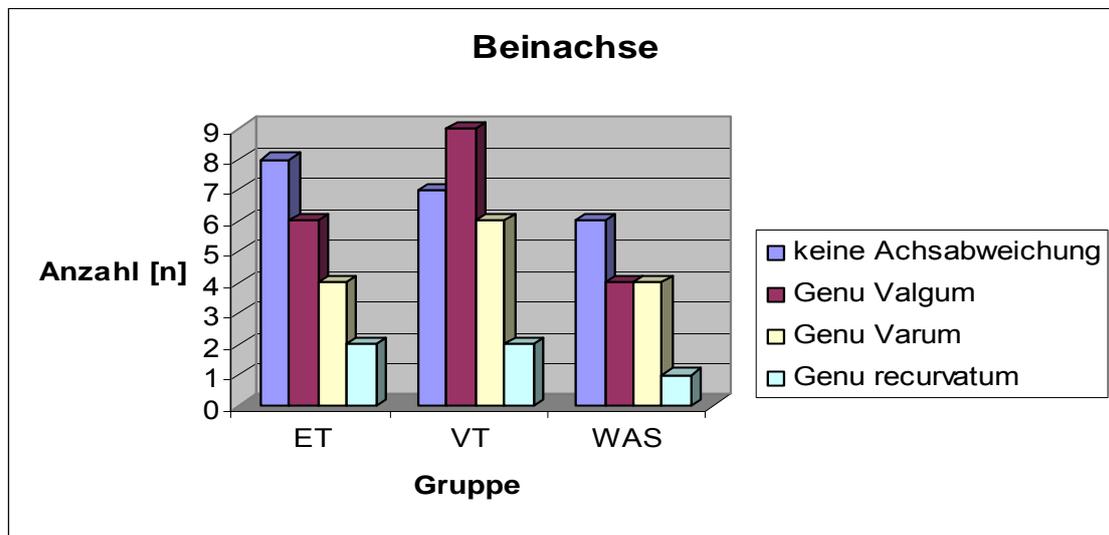


Abbildung 57: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] einer Achsabweichung (keine, valgus, varum oder recurvatum) der Beine

3.3.2.2 Rückfußachse

Die Probanden wiesen eine normale Stellung (ET: 44,4%; VT: 36,4%; WAS: 21,4%), Valgus- (ET: 33,3%; VT: 50,0%; WAS: 42,9%) oder Varusstellung des Rückfußes auf (ET: 22,2%; VT: 13,6%; WAS: 35,7%)

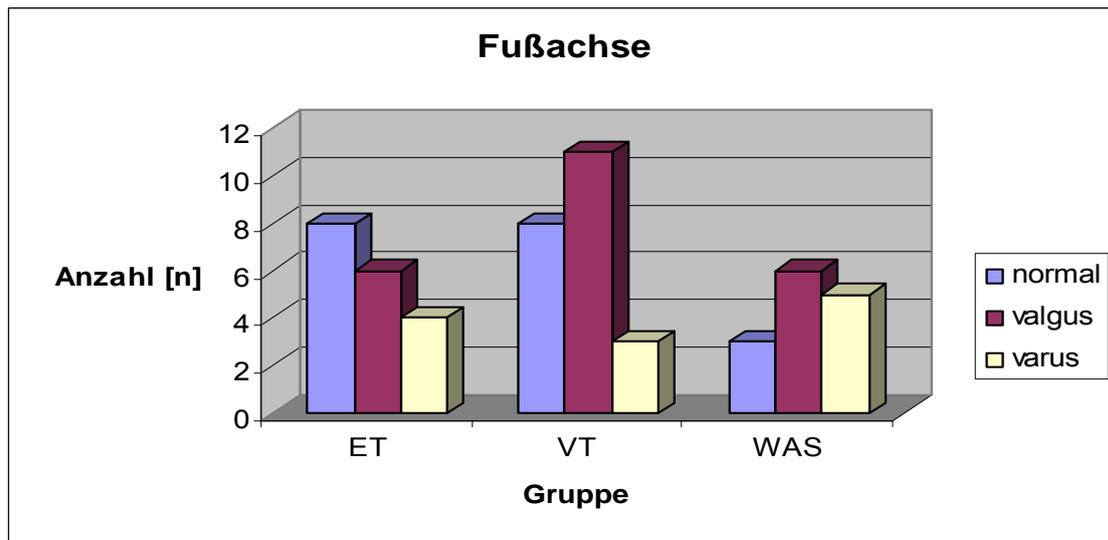


Abbildung 58: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] einer *Achsabweichung* (*normal, varus oder valgus*) der Füße

3.3.2.3 Beckenschiefstand und Beinlängendifferenz

Die Mehrzahl der Probanden hatte keinen Beckenschiefstand zu verzeichnen (ET: 83,3%; VT: 77,3%; WAS: 64,3%). Zu einem kleinen Teil war ein Beckenschiefstand auf der nicht betroffenen (ET: 11,1%; VT: 18,2%; WAS: 21,4%) bzw. der betroffenen (ET: 5,6%; VT: 4,5% WAS: 14,3%) Seite nachweisbar.

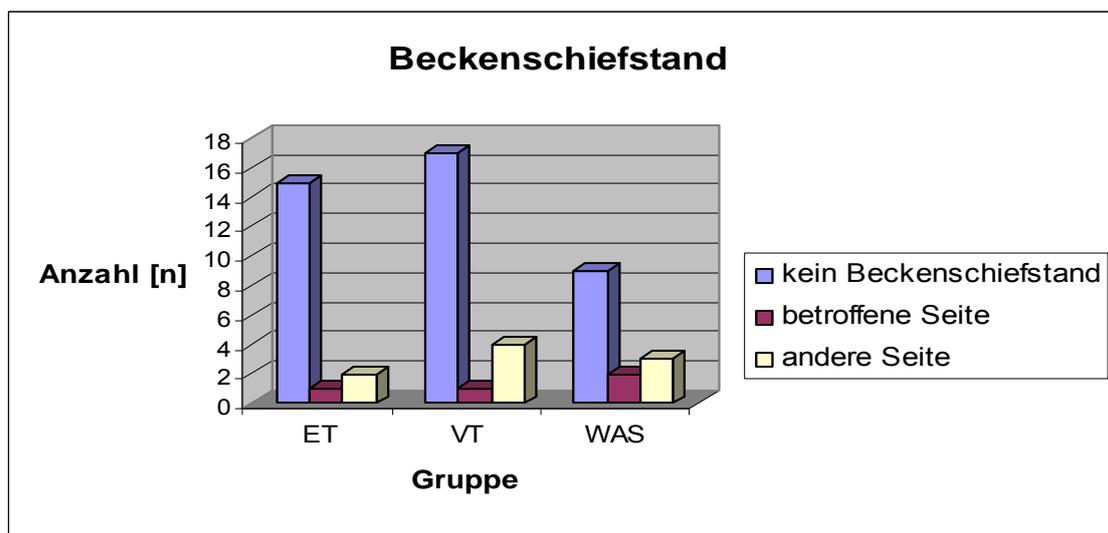


Abbildung 59: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] eines *Beckenschiefstandes* (*kein Beckenschiefstand, betroffene oder andere Seite*)

In der VT- Gruppe war bei 2 Probanden (= 9,1%) eine Beinlängendifferenz > 1cm des nicht betroffenen Beines festzustellen. Probanden der ET- Gruppe hatten keine Beinlängendifferenz > 1cm. In der WAS- Gruppe hatten 2 Probanden (= 14,3%) eine Beinlängendifferenz des nicht- bzw. betroffenen Beines aufzuweisen.

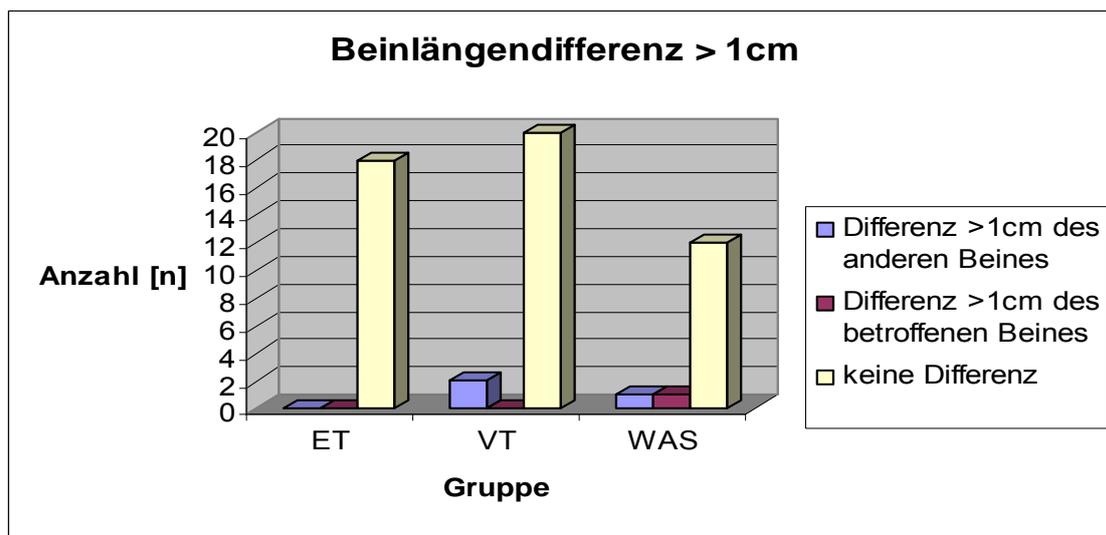


Abbildung 60: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] einer Beinlängendifferenz > 1cm

Beinlängendifferenzen < 1cm waren in der VT- Gruppe bei 7 Probanden (= 31,8%), in der ET- Gruppe bei 3 Probanden (=16,7%) und in der WAS- Gruppe bei 6 Probanden (=42,9%) und feststellbar.

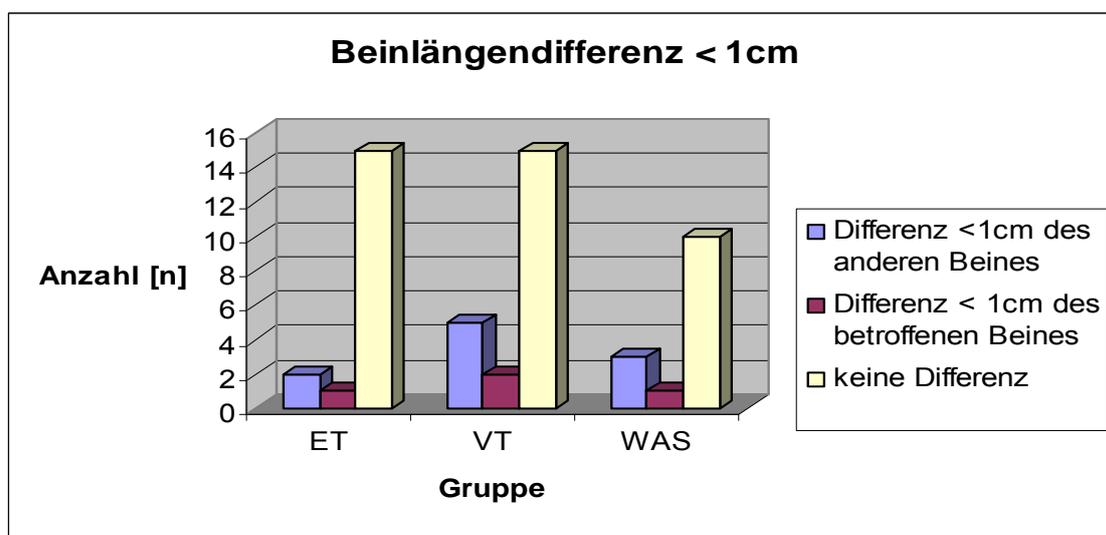


Abbildung 61: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] einer Beinlängendifferenz < 1cm

3.3.2.4 Fußform

Es wurden die klinischen Verhältnisse sowohl des Mittel- und Rückfußes, als auch des Vorfußes bestimmt. Es wurde ein normaler (ET: 50%; VT: 45,5%; WAS: 35,7%), Knick- Senk- (ET: 50%; VT: 54,5%; WAS: 50%) oder Hohlfuß (WAS: 14,3%) diagnostiziert.

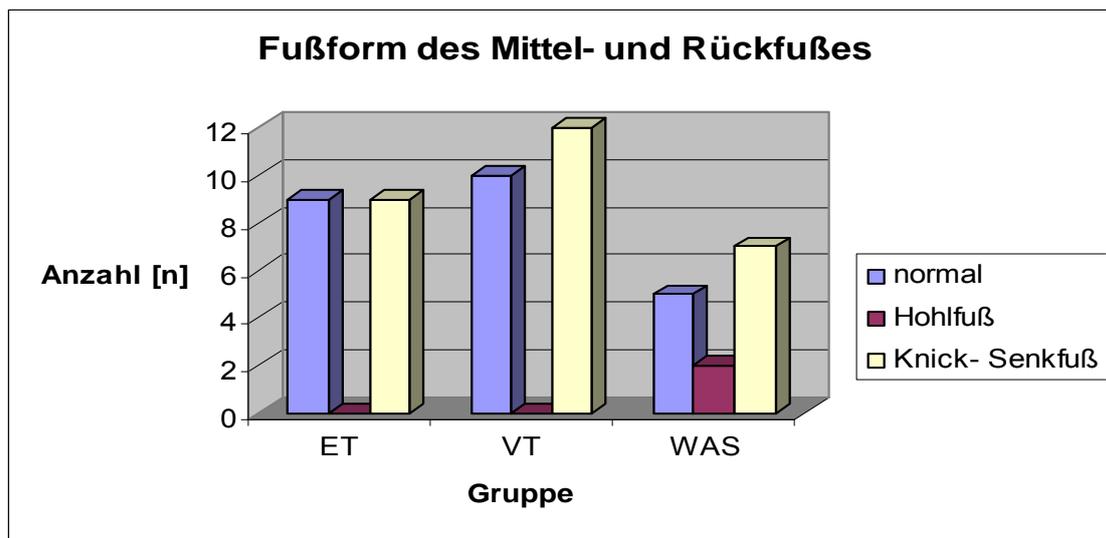


Abbildung 62: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] der Fußform (normal, Hohl- oder Knick-Senkfuß) des Mittel- und Rückfußes

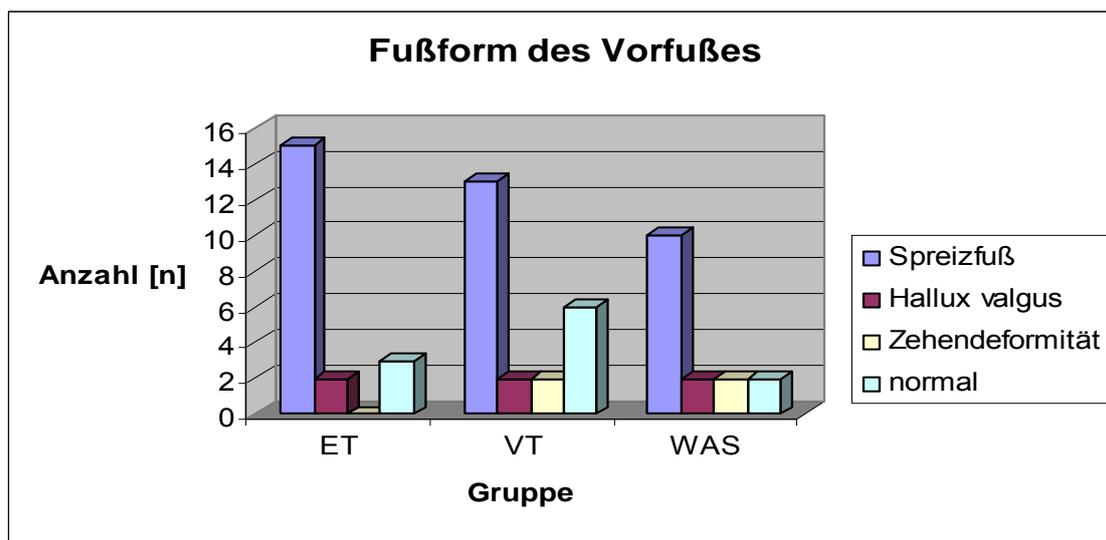


Abbildung 63: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] der Fußform (normal, Spreizfuß, Hallux valgus oder Zehendeformität) des Vorfußes

Probanden wiesen einen Hallux valgus (ET: 11,1%; VT: 9,1%; WAS: 14,3%), Zehendeformitäten (ET: 0%; VT: 9,1%; WAS: 14,3%), Spreiz- (ET: 83,3%; VT: 59,1%; WAS: 71,4%) oder normalen Vorfuß (ET: 16,7%; VT: 27,3%; WAS: 14,3%) auf.

3.3.2.5 ROM Oberes (OSG) und Unteres Sprunggelenk (USG)

Der Range- Of- Motion (ROM) des OSG der Probanden wurde hinsichtlich einer Hypo- (ET: 5,6%; VT: 9,1%; WAS: 0%), normaler (ET: 88,8%; VT: 90,9%; WAS: 92,9%) oder Hyper- (ET: 5,6%; VT: 0%; WAS: 7,1%) Mobilität klinisch untersucht.

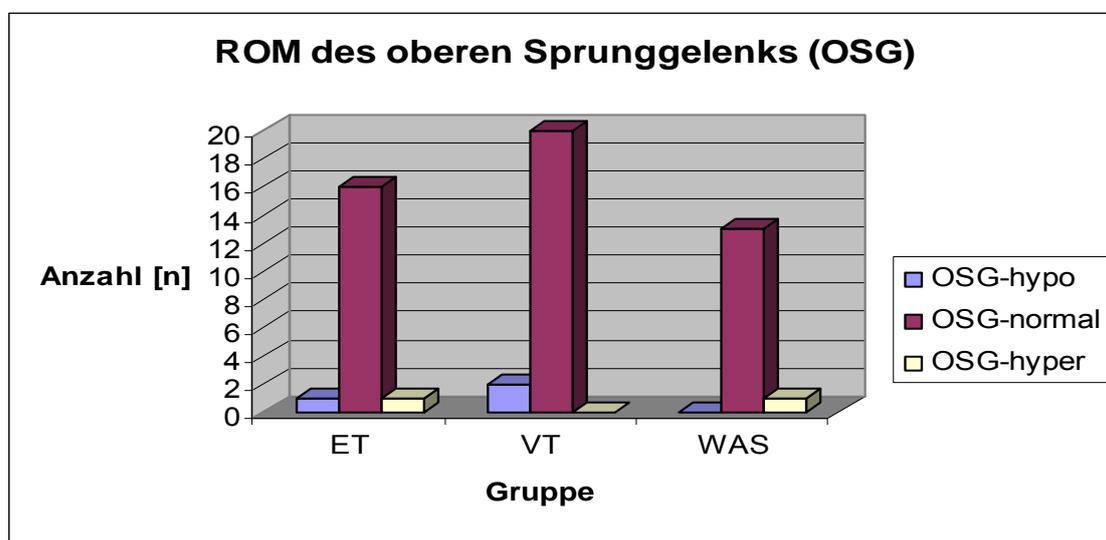


Abbildung 64: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] der klinischen Verhältnisse (hyper-, hypo- oder normale Mobilität) des ROM im OSG.

Der ROM des USG wurde ebenfalls hinsichtlich einer Hypo- (ET: 0%; VT: 9,1%; WAS: 0%), normalen (ET: 88,9%; VT: 81,8%; WAS: 92,9%) oder Hyper- (ET: 11,1%; VT: 9,1%; WAS: 7,1%) Mobilität untersucht.

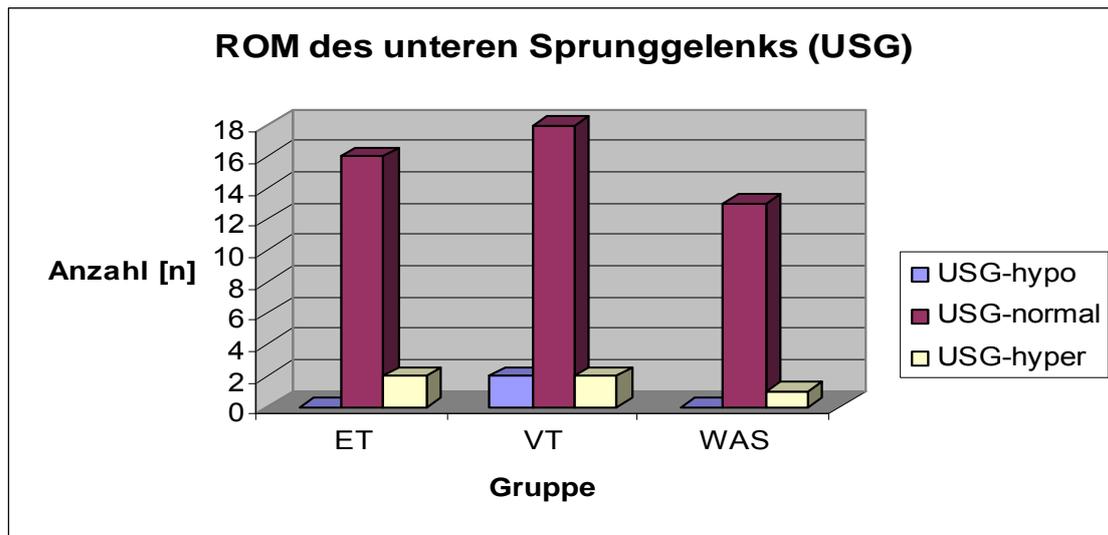


Abbildung 65: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] der klinischen Verhältnisse (hyper-, hypo- oder normale Mobilität) des ROM im USG.

3.3.2.6 Talusvorschub

Anhand des Talusvorschubs gegenüber der Malleolengabel wurde auf eine fibuläre Bandinstabilität untersucht. Nur bei einem Probanden der ET- Gruppe war dieser positiv.

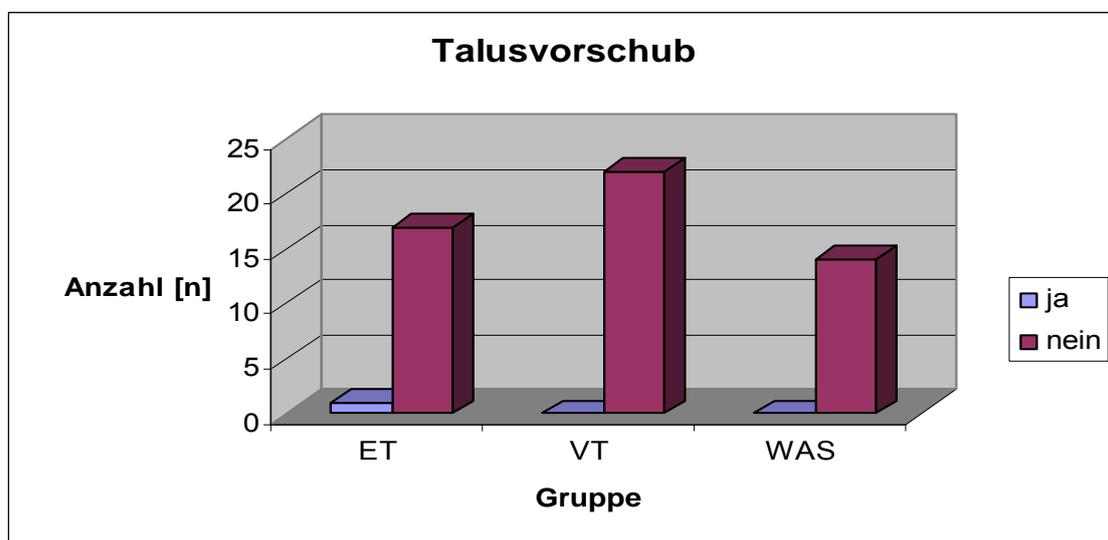


Abbildung 66: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] eines Talusvorschub des Hinterfußes (ja oder nein)

3.3.2.7 Valguskorrektur

Bei zwei Probanden jeder Gruppe wurde keine physiologische Valguskorrektur

des Hinterfußes nachgewiesen (ET: 11,1%; VT: 9,1%; WAS: 14,3%).

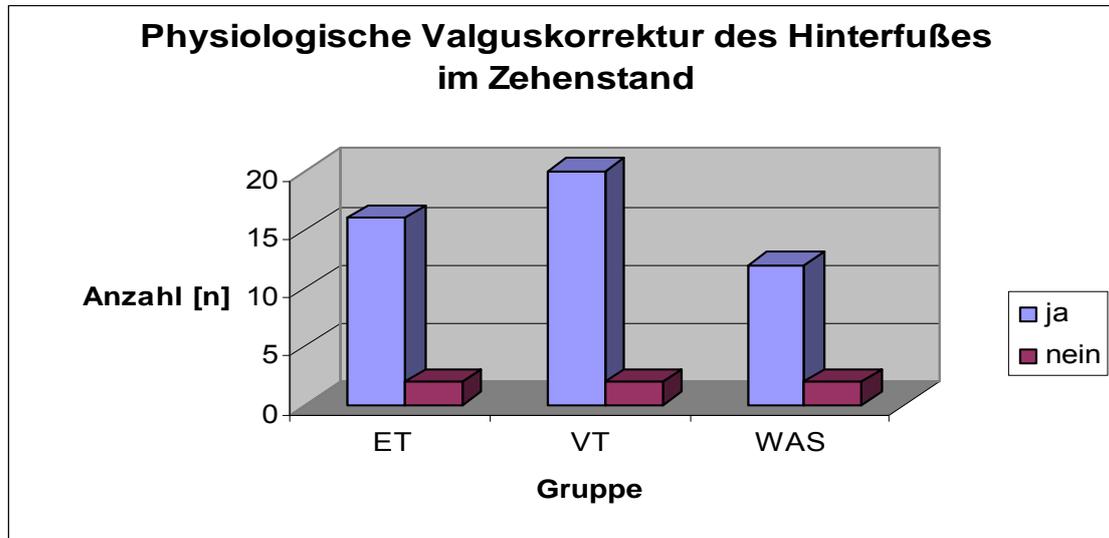


Abbildung 67: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] einer physiologischen Valguskorrektur des Hinterfußes im Zehenstand (ja oder nein)

3.3.2.8 Zehenspitzenstand

Es wurde klinisch der eventuell auftretende Schmerz im Zehenspitzenstand bei 5 (ET: 27,8%) bzw. 8 (VT: 36,4%) bzw. 3 (WAS: 21,4%) Probanden nachgewiesen.

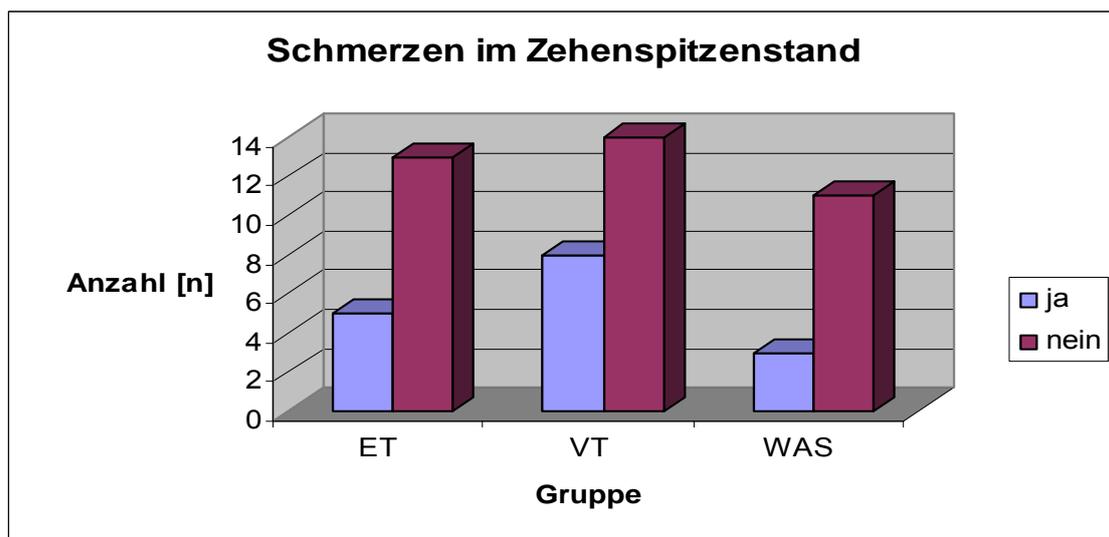


Abbildung 68: Häufigkeitsverteilungen [Anzahl Probanden, n] bestehender Schmerzen im Zehenstand (ja oder nein)

4 Diskussion

Die genaue Ursache und Pathogenese einer AT sind bisher noch nicht bekannt. Die Definition der AT selbst ist daher in stetigem Wandel begriffen und stellt die Wissenschaft in Zukunft vor eine große Herausforderung im Sinne der Etablierung einheitlicher Diagnosekriterien.

Auf Grund der Annahme, dass multifaktorielle Einflüsse für die Entstehung einer AT verantwortlich sind, wurden Behandlungsmodalitäten bisher vielfältig angewandt. Mehrere Studien demonstrierten bereits, dass ET gute Kurzzeitergebnisse bei Patienten mit AT erzielen konnte [32, 88, 104]. Ziel unserer Studie war es mit dem VT eine neue Therapiemethode zu evaluieren und etablieren, so dass für Patienten mit chronischer AT in der Zukunft eine weitere erfolgreichere Trainingsmethode zur Verfügung steht. Die experimentelle Therapie der AT mit VT wurde bisher noch nicht untersucht. Das ET- bzw. WAS sollten zum Vergleich der Effektivität der Therapie dienen.

Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden in unserer Pilotstudie vergleichsweise eng gefasst. Nebeneffekt dessen war eine zu niedrige Fallzahl, die nicht auf eine Gesamtpopulation rückzuschließen ließen. Anhand unserer Population ließen sich dennoch eindeutige, Konsequenzen tragende Ergebnisse feststellen. Diese werden im Folgenden diskutiert.

4.1 Trainingsmethoden

4.1.1 Exzentrisches Training

Als *intraindividuelle* Einflussfaktoren sind der Trainingszustand und Persönlichkeitsmerkmale zu nennen, die in unterschiedlicher Ausprägung die Ergebnisse beeinflussen können. Durch die Randomisation im Rahmen der Eingangsuntersuchung sollten diese Faktoren minimiert werden. Nachteilig erwiesen sich hier die niedrigen Probandenfallzahlen unserer Studie.

Das ET wurde für Patienten mit AT im Gegensatz zum VT in vielen Studien bereits untersucht und evaluiert. Ein Grund für den Therapieerfolg des ET ist die leichte Durchführbarkeit des Trainings. In bisherigen Studien führten die Patienten dieses Training zu Hause anhand eines etablierten Übungsschemas durch. Eine genaue Steuerung der Compliance und korrekte Übungsausführung bzw. Trainingsintensität war somit jedoch nicht gewährleistet. Ziel unserer Studie war daher ein vergleichbarer zeitlicher Betreuungsbzw. Trainingsaufwand beider Trainingsgruppen. Dennoch konnte nicht ausgeschlossen werden, dass die Probanden der ET-Gruppe bei Erfolg zusätzlich auch zu Hause Trainingseinheiten absolvierten.

Zu den *interindividuellen* Einflussfaktoren gehören der Betreuungsaufwand und die Umgebungsbedingungen. Diese wurden so weit wie möglich kontrolliert, allerdings stand kein separater Übungs- und Umkleideraum zur Verfügung. Probanden beider Trainingsgruppen konnten sich so über die persönlichen Trainingserfolge austauschen.

4.1.2 Vibrations Training

VT wurde bei Patienten mit AT noch in keiner Studie angewandt. Somit standen im Gegensatz zum ET keine Übungsprotokolle bzw. Vibrationscharakteristika (Frequenz, Amplitude, etc.) zur Verfügung.

Frequenzen zwischen 5 und 15 Hz haben einen „lockernden“ Effekt auf die Muskulatur, erhöhen die Flexibilität und wirken schmerzlindernd [106]. Diese wurden daher nur für das Aufwärmen und den Cool-down benutzt. *Randall et al.* weisen darauf hin, dass Vibrationsfrequenzen zwischen 9 und 16 Hz zu vibrationsinduzierten Schäden führen können. Sie führen dies auf Resonanzfrequenzen zwischen den von außen eingeleiteten Vibrationen und dem menschlichen Körper zurück, welche eine maximale Auslenkung zwischen Organen und dem Skelett bewirken sollen [99]. Frequenzen zwischen 20 und 30 Hz sollen die von uns gewünschte Leistungsfähigkeit der Muskeln verbessern [106]. Bei Frequenzen über 21 Hz kam es jedoch im Vorfeld der Studie bei verschiedenen

Versuchspersonen zu Unbehagen bzw. verstärkte Achillessehnen Schmerzen, so dass diese Frequenzen gemieden wurden. Zur Anwendung kamen daher Frequenzen im Übergangsbereich zwischen 16 und 21 Hz. Diese sollen sowohl schmerzlindernde, als auch leistungssteigernde Effekte induzieren [106]. Die Frequenz und Amplitude wurden über die Studienzeit für jeden unserer Teilnehmer sukzessive gesteigert, um einen Trainingseffekt im Bereich höherer Frequenzen zu erzielen.

Bei keinem Patienten der VT- Gruppe kam es - im Gegensatz zum ET- zu Schmerzen beim Training. Sie berichteten hingegen von einem analgesierenden angenehmen Wärmegefühl. *Bakhtary et al.* haben gezeigt, dass ein VT vor exzentrischer Belastung (ET) zu einer Reduktion des Muskelkaters führt [16]. In weiteren Studien könnte daher der Einfluss von VT in Kombination mit ET auf die Schmerzentwicklung untersucht werden.

4.2 Prä- und posttherapeutisch erhobene Daten

4.2.1 VAS- Schmerzfragebogen

4.2.1.1 Allgemeines

Unsere Hypothese war, dass es mit dem VT nach zwölf Wochen zu einem besseren Abschneiden (Differenz [mm/VAS]) auf der VAS- Skala, als mit dem ET bzw. WAS kommt.

Beide Trainingsgruppen, das ET jedoch mehr als das VT, zeigen hinsichtlich der VAS in den Bereichen „Lauftraining“ und „sportliche Aktivitäten“ eine deutliche Verbesserung durch das Training. Im Vergleich zur WAS- Gruppe ist der Trainingseffekt sogar noch deutlicher ausgeprägt. Die leichte Zunahme in der WAS- Gruppe ist durch Lerneffekte bzw. testmanente Probleme zu erklären.

In unserer Studie entschieden wir uns für die VAS- Skala, da die Beurteilung des Therapieerfolgs bzw. Beeinträchtigung durch Achillessehnen Schmerzen anhand dieser Skala in mehreren Studien mit ET bereits durchgeführt worden

war [3, 28, 32, 65, 74, 96, 111]. Zur Bewertung chronischer Schmerzen ist die VAS die am meisten verwendete Methode [68]. Hohe Validität und Reliabilität zeichnen die VAS als Messmethode aus, um einen Therapieerfolg bei chronischen Schmerzzuständen zu quantifizieren [97, 111].

Die Bereiche, die mit der VAS abgefragt werden können (z.B. Beeinträchtigung „beim Sport“, „während des Gehens“, etc.), sind vielfältig und erschweren den Vergleich zwischen den Studien. Zwei kürzlich erschienene Reviews prangern die Methodik der bisher durchgeführten Studien zu ET an und fordern für die Zukunft standardisierte Methoden zur Bestimmung des Therapieerfolges [59, 122]. *Silbernagel et al.* entwickelten einen Achillessehnen-spezifischen Fragebogen, welcher sehr gute Reliabilität und Validität aufweist, jedoch noch nicht in deutscher Sprache zur Verfügung steht [112].

Die positiven Effekte eines *ET* auf das Schmerzempfinden konnte bisher fast nur bei Patienten mit AT im mittleren Bereich der Sehne nachgewiesen werden [32]. Bei den Teilnehmern unserer ET- Gruppe wurden jedoch ebenfalls Verbesserungen der Schmerzen im Bereich der ossären Insertion und des tendomuskulären Überganges nachgewiesen. Dies könnte verschiedene Gründe haben: Die Einschlusskriterien unserer Studie waren im Vergleich zu anderen Studien enger, was als ein Grund des bisherigen Misserfolgs vergangener Studien zu ET bei Ansatzentendinosen angesehen wird [62]. Aber auch auf die Trainingsumfänge wurde von uns individuell Einfluss genommen und in einem möglichst schmerzfreien Bereich trainiert. Anzumerken ist, dass die ET- Gruppe im Durchschnitt einmal mehr pro Woche trainiert hat als die VT- Gruppe. Mit zwischen den Gruppen ausgeglichenen Anzahl an TE hätte mit dem VT möglicherweise derselbe Trainingserfolg wie mit dem ET erzielt werden können.

Bisherige Studien weisen darauf hin, dass ein Grund für die Wirksamkeit des ET in einem bewusst schmerzhaften Training liegt. Wir sind jedoch der Meinung, dass ein Training (ET oder VT) nur dann zu einem Leistungszuwachs führen kann, wenn wie in unserer Studie in einem schmerzfreien Bereich bzw.

an der Schmerzschwelle trainiert wird. Sekundär kommt es dann über eine Erhöhung der Schmerzschwelle zu einer verringerten Schmerzempfindlichkeit für exzentrische Belastungen. Hierauf basiert auch der theoretische Hintergrund des ET nach *Stanish et al.* [115]. Die Wirkmechanismen des VT werden unter anderem ebenfalls in einer Erhöhung der Schmerzschwelle vermutet [69]. Möglicherweise ließe sich durch eine Erhöhung der Vibrationscharakteristika (Frequenz, Amplitude, Dauer, Umfang, Applikationsweise, etc.) ein noch besseres Ergebnis durch unser VT erzielen.

Dem Erfolg unseres VT könnte aber auch wie dem ET eine möglicherweise verringerte Sehnenvaskularisation zu Grunde liegen. *Alfredson et al.* vermuten, dass die Schmerzentstehung bei AT in vermehrter Neovaskularisation und vergesellschaftetem Nerveneinwuchs liegt [7]. Nach 12wöchigem ET korrelierte die Schmerzabnahme bei Patienten mit chronischer AT (Sehnenmitte) mit einer verringerten Neovaskularisation [28].

4.2.1.2 Lauftraining und sportliche Aktivitäten

In den zwei Trainingsgruppen unserer Studie kam es zu einer deutlichen Reduktion der Schmerzen im Bereich „*Lauftraining (walking)*“ um -43 (VT) bzw. -72% (ET), bei einem hohen Ausgangsniveau von 61 (VT) bzw. 76 (ET) mm auf der VAS. Im Bereich „*sonstige sportlicher Aktivitäten*“, welcher ebenfalls mit unserer VAS abgefragt wurde kam es zu ähnlich guten Ergebnissen (VT: -50%; ET: -80%).

Vergleichbar gute Ergebnisse zu ET lassen sich in zahlreichen Studien finden, welche unten (Tabelle) aufgeführt sind. Im Gegensatz zu unserer Untersuchung wiesen die Probanden jedoch nur eine Schmerzsymptomatik an der Sehnenmitte auf. Eine Tendinose des Sehnenansatzes und des tendo- muskulären Überganges waren Ausschlusskriterien.

Tabelle 21: Studien zu 12 wöchigem ET bei Freizeitsportlern mit AT. Messparameter Verbesserung auf der VAS- Skala [mm/VAS] in den verschiedenen Messbereichen. Angabe der Mittelwerte und Standardabweichung (wenn vorhanden). * Anmerkungen s. u.

Studie	Zielkriterium	Ergebnis [mm/VAS]
Alfredson et al. [3] *	Schmerzen während Aktivitäten (Laufen)	- 76,4 (von 81,2 +/- 18 auf 4,8 +/- 6,5)
Alfredson et al. [4]	„	- 67 (von 70,5 +/- 21,9 auf 3,5 +/- 5,6)
Alfredson et al. [8]	„	-52 (von 69 auf 17)
De Vos et al. [28]	Schmerzen bei sportlichen Aktivitäten	-19 (von 45 auf 26)
Fahlstrom et al. [32] **	Schmerzen während Aktivitäten (Laufen/ walking/ jogging)	-56,6 (von 66,8 +/- 19,4 auf 10,2 +/- 13,7)
Knobloch et al. [62] ***	Schmerzen (gesamt)	-18 (von 54 +/- 21 auf 36 +/- 24)
Mafi et al. [74]	Schmerzen während Aktivitäten (Laufen/ walking)	-57 (von 69 auf 12)
Petersen et al. [96]	Schmerzen bei sportlichen Aktivitäten (Gehen/ Laufen)	- 15 (von 20 auf 5) bzw. - 35 (von 50 auf 15)
Rompe et al. [103] ****	Schmerzen während Belastung (exzentrisch)	-34 (von 70 +/- 8 auf 36 +/- 23)
Silbernagel et al. [111]	Schmerzen während Aktivitäten (Laufen/ walking)	-8 (von 23 auf 15) bzw. bzw. -4 (15 auf 11)
Stergioulas et al. [116]	Schmerzen bei körperlichen Aktivitäten	-28,8 (von 81,8 +/- 11,6 auf 53 +/- 19,5)
Niesen- Vert. et al. [83] *****	Schmerzen (gesamt)	-55 (von 60 auf 5)

* Kontrollgruppe vor/nach OP: -50,6 (von 71,8+/-17,9 auf 21,2+/-11,4); **gilt für 82% der Gruppe; Gruppe mit AT am Sehnenansatz: ca. 1/3 der Pat. -55 (von 68,3+/-7,0 auf 13,3+/-13,2) und ca. 2/3 der Pat. -4,1 (von 79,5+/-11,2 auf 75,4+/-11,2); *** Gruppe mit AT am Sehnenansatz: -28 (von 60+/-25 auf 32+/-27) größere Abnahme als Sehnenmitte; ****16 Wochen ET; WAS-Gruppe: -20 (von 79+/-6 auf 59+/-18); ***** keine Angabe zur Schmerzlokalisierung der AT;

4.2.1.3 Erholung, familiäres Zusammenleben und soziale Aktivitäten

In beiden Trainingsgruppen konnte eine leichte Verbesserung der Beschwerden auf der VAS erreicht werden. In der WAS- Gruppe trat, wie erwartet, kaum eine Veränderung oder sogar eine Verschlechterung auf.

Wenn man unsere Ergebnisse mit denen anderer ET- Studien vergleicht, so findet man Ähnlichkeiten zu den Ergebnissen von *Petersen et al.* Nach 12wöchigem ET war im Bereich der „Aktivitäten des täglichen Lebens“ eine Verbesserung von ca. 12 auf 5 [mm/VAS] nachweisbar [96]. Allerdings schloss diese Studie nur Patienten mit Beschwerden im mittleren Bereich der Sehne mit ein. Weiterhin war das Schmerzausgangsniveau nur 12 von 100 [mm/VAS].

In einer Studie von *Lundeberg et al.* zu Vibrationsbehandlung bei chronischen muskulo- skelettalen Schmerzzuständen wurde in 72,7% der Probanden, welche auf der VAS- Skala eine Reduktion der Schmerzen >50% hatten, eine gesteigerte soziale Aktivität nachgewiesen [69]. Unsere Studie konnte diesen Trend bestätigen.

4.2.2 Palpationsschmerz

Unsere Hypothese war, dass es durch das VT nach zwölf Wochen zu einem besseren Abschneiden (Differenz [mm/VAS]) auf der VAS- Skala als mit dem ET bzw. WAS kommt.

Beide Trainingsgruppen, das ET jedoch mehr als das VT, zeigen hinsichtlich des Palpationsschmerzes eine ausgeprägte Verbesserung durch das Training. Wie schon beim VAS- Schmerzfragebogen fällt auf, dass an allen Lokalisationen der Sehne das ET leicht bessere Ergebnisse als das VT erzielt. Da in unserer Studie eine Vergleichsgruppe (WAS- Gruppe) vorhanden war, konnten wir Aussagen über Trainingseffekt und Palpationsschmerz treffen.

Die Erhebung des Palpationsschmerzes ist Bestandteil nahezu jeder klinischen Untersuchung bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden. Ob

eine AT der Sehnenmitte oder -ansatzes als Diagnose definiert wird, basiert hauptsächlich auf dem Ergebnis der Anamnese und des Palpationsschmerzes. Vorteilhaft ist die schnelle und kostengünstige Verfügbarkeit.

Silbernagel et al. evaluierten die Palpationsschmerz- Messmethode. Sie fanden eine gute Reliabilität und empfahlen diese für weitere Untersuchungen [111]. Für den Palpationsschmerz als diagnostisches Kriterium bei AT finden sich mit einer Spezifität von 0,85 und einer Sensitivität von 0,58 im Vergleich zu anderen Diagnostikmethoden gute Ergebnisse [73]. Nachteilig ist die Untersucherabhängigkeit des Verfahrens. Meßfehler können dadurch minimiert werden, dass immer derselbe Untersucher - wie in unserer Studie der Prüfarzt - die Palpation vornimmt.

Die Probanden unserer Gruppen zeigten zum Zeitpunkt 0 die deutlichste Schmerzreaktion im Bereich der Sehnenmitte. Die Sehnenbereiche am tendomuskulären Übergang und am Sehnenansatz waren aber ebenfalls betroffen. Auffällig war ebenfalls, dass unsere Patienten, die nur ein einziges Schmerzareal in der Anamnese angegeben hatten, im Palpationsschmerz oft an mehreren Bereichen der Achillessehne affektiert waren, et vice versa. Daher wurde von uns zu Beginn der Studie eine Stelle des stärksten Schmerzens durch die subjektive Patienteneinschätzung und den objektiven Palpationsbefund festgelegt. Durch neue Messmethoden könnte das Ausmaß und die genaue Lokalisation der AT eventuell noch besser quantifiziert werden [117].

Sehnenansatz und -mitte:

Nach 12- wöchigem VT kam es zu einer leichten Abnahme des Palpationsschmerzes an *der ossären Insertion der Sehne* (VT: -15,64 [mm/VAS]). Das ET schnitt leicht besser ab (ET: -19,28 [mm/VAS])

Die stärkste Abnahme der Beschwerden (VT: -39,18 [mm/VAS]; ET: -46,33 [mm/VAS]) wurde jedoch in der *Sehnenmitte* gemessen. *Die Probanden wiesen an dieser Lokalisation vergleichsweise die stärksten Beschwerden auf bzw. das Ausgangsniveau war am höchsten.* Die WAS- Gruppe änderte sich am Sehnenansatz und -mitte, wie erwartet, nur gering (-11,07 bzw. -11,5 [mm/VAS]).

Die leichte Zunahme in letztgenannter Gruppe ist durch Lerneffekte bzw. testimanente Probleme zu erklären.

Vorangehende Studien wie durch *Fahlström et al.* zeigten, dass es nur in 32% der Patienten mit Ansatz- AT durch ET zu einem zufriedenstellenden Resultat kam [32]. In einer erst kürzlich erschienenen Studie von *Jonsson et al.* konnte mit einem modifizierten ET- Trainingsregime (ohne Dorsalflexion) bei ca. 2/3 der Patienten ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden (von 69,9+/-18,9 auf 21+/-20,6 [mm/VAS]) [48].

Wie bei insertionaler AT soll für die Schmerzentstehung der Sehnenmitte- AT evtl. eine erhöhte Durchblutung bzw. Neovaskularisation der Sehne verantwortlich sein. *De Vos et al.* konnten zeigen, dass nach 12-wöchigem ET bei Patienten mit Sehnenmitte- AT die mit dem VAS- Schmerzfragebogen erhobene Schmerzabnahme mit der Abnahme der Neovaskularisation korreliert [28]. Man ging daher in neuen Studien davon aus, dass in symptomatischen Sehnen der Blutfluss in den Sehnenkapillaren erhöht ist. Dies betrifft sowohl die AT am Sehnenansatz wie in der Sehnenmitte. Daher untersuchte man die Wirkung des ET auf den Blutfluss bei AT. Die Durchblutung konnte sowohl bei Patienten Schmerzen am Sehnenansatz als auch bei Patienten mit Schmerzen in der Sehnenmitte durch ET reduziert werden. Schmerzen auf einem VAS- Fragebogen nahmen in gleichem Maße in der Gruppe mit Ansatz- und Sehnenmitte- AT ab. Sie schlussfolgerten, dass es durch ET, in Folge einer Abnahme des Blutflusses, zu einer Reduzierung der Schmerzen kommt und ET somit zukünftig bei Patienten mit Ansatz- und Sehnenmitte- AT angewendet werden sollte [62].

In unserer ET- Gruppe wurde vor allem in der Sehnenmitte eine deutliche Schmerzreduktion erzielt. Aber auch am Sehnenansatz war eine geringe Verbesserung des Befundes nachweisbar. Im Bereich der Schmerzabnahme stützt unsere Studie die Ergebnisse von Knobloch et al. für die ET- Gruppe. In leichtem Widerspruch stehen jedoch hierzu unsere gefundenen Ergebnisse im US-Befund, wo am Sehnenansatz keine Befundänderung feststellbar war. Aller-

dings stand uns auch kein Doppler – US zur Verfügung, der eine mögliche Abnahme der Sehnenvaskularisation hätte sichtbar machen können.

Mit dem VT konnte ein ähnlich gutes Ergebnis bei AT der Sehnenmitte wie mit dem ET erreicht werden. Im US wurde dort wie in der ET- Gruppe eine deutliche Verbesserung diagnostiziert. Möglicherweise stehen die Ergebnisse des VT ebenfalls wie das ET in Zusammenhang mit einer veränderten Sehnenvaskularisation. Für das VT weiß man jedoch im Gegenteil, dass es zu einer erhöhten Durchblutung der Wadenmuskulatur führt [54]. Im Falle des VT bleibt anzuzweifeln, ob eine Schmerzreduktion durch eine dadurch verminderte Neovaskularisation zustande kommt. Möglicherweise kommt es über eine verbesserte Durchblutung zu einer verbesserten Versorgung mit Nährstoffen und es werden Reparationsvorgänge in Kraft gesetzt, die die verbesserten US- Befunde erklären könnten.

Tendo- muskulärer Übergang:

Die Verbesserungen der Schmerzen am tendo- muskulären Übergang waren nur in der ET- Gruppe nachweisbar (-32,89 [mm/VAS]). Die Beschwerden der VT- Gruppe hingegen veränderten sich minimal (VT: von 34,82 auf 34,55 = -0,27 [mm/VAS]). Die Probanden der WAS- Gruppe wiesen wie erwartet eine Verschlechterung auf (WAS: von 18,36 auf 31,86 = +13,5 [mm/VAS]).

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass VT, wie wir es durchgeführt haben, nur in den Bereichen der Sehnenmitte- und im geringeren Ausmaß des Ansatzes eine Wirkung erzielt. Möglicherweise ließe sich durch eine Änderung der Vibrationscharakteristika (niederfrequent?) oder der Applikation von TKS dieses Zielgebiet (tendo- muskulärer Übergang) mit den Vibrationen besser erreichen. Andererseits könnten dort im Vergleich zum Sehnenansatz/-mitte spezielle vulnerable Bereiche der Sehne, im Sinne von histologischen und biomechanischen Schwachstellen, vorliegen. Bekannt ist, dass im Bereich des myo- tendinösen Übergangs ein Gewebe vorliegt, welches besonders vor Belastung durch Verbesserung der Elastizität geschützt werden sollte. Dort wird die Spannung, die

von intrazellulären kontraktilen Elementen erzeugt wird auf extrazelluläre Kollagenfibrillen übertragen [46].

4.2.3 Ultraschallmessung

Unsere Hypothese war, dass nach 12- wöchigem Training Patienten der VT-Gruppe in höherem Ausmaß als die ET- Gruppe bzw. WAS einen verbesserten US- Befund aufweisen.

Die Untersuchung der Patienten mit US stellt einen Goldstandard in der Diagnose, Differentialdiagnose und Messung des klinischen Verlaufes einer AT dar. Das Verfahren ist nicht- invasiv, leicht verfügbar, kostengünstig und zeigt hohe Reliabilität [107]. Von Nachteil ist die Untersucherabhängigkeit des Verfahrens. *Khan et al.* weisen außerdem darauf hin, dass Abnormalitäten im bildgebenden Befund weiter persistierten, auch wenn Patienten (mit AT der Sehnenmitte und -ansatz) eine funktionelle Erholung ihrer Beschwerden erfahren haben. US korreliert somit nur bedingt mit dem klinischen Status eines Patienten mit chronischer AT [58].

Veränderungen der Sehnenstruktur und eine vermehrte Neovaskularisation sind charakteristisch für eine AT und können als diagnostisches Kriterium gelten [67]. *Paavola et al* machten jedoch deutlich, dass der US ungeeignet ist, fokale degenerativen Läsionen (hypoechoogene Areale) von partielle Sehnenrupturen zu unterscheiden [90]. Hypoechoogene Areale bedeuten weiterhin nicht zwangsläufig die Diagnose einer AT, da diese Veränderungen auch bei Gesunden gefunden wurden [82]. Obwohl hypoechoogene Areale bei Probanden zum Zeitpunkt 0 und nach einem Jahr unverändert bestanden, hatte sich der klinische Befund verbessert [58].

Aufgrund oben ausgeführten Studien sollte daher die Diagnose, wie in unserer Studie durchgeführt, nur in Zusammenhang mit der klinischen Untersuchung gestellt werden bzw. zusätzliche Diagnostik (z. B. MRT) betrieben werden [73, 82].

In der Literaturrecherche wurden keine Studien gefunden, die die Auswirkungen des VT auf die im Ultraschall bestimmte Sehnenstruktur untersuchten.

Ansatztendinose:

Probanden der *VT- Gruppe* profitierten am ehesten von dem Training und erzielten die besten Ergebnisse im Gruppenvergleich. Bei 5 Patienten der *VT- Gruppe* konnte eine Verbesserung des Befundes festgestellt werden.

Auffallend waren die nach Ende des *ET* unbeeinflussten US- Befunde.

Vergleicht man die Ergebnisse des Palpationsschmerzes (VAS) am Sehnenansatz (VT: -15,64; ET: -19,28; WAS: -11,07 [mm/VAS]) mit dem US- Befund, so kann jedoch kein Zusammenhang zwischen Schmerz und Morphologie in der *ET- Gruppe* hergestellt werden. Um einen Therapieerfolg des *ET* zu quantifizieren, scheint der US- Befund in diesem Bereich der Sehne ungeeignet zu sein.

Inhomogenitäten im Sehnenverlauf:

Öhberg et al. untersuchten Probanden mit Schmerzen in der Sehnenmitte und Inhomogenitäten im US vor und nach Abschluss eines 12wöchiges *ET*. Im Follow- Up waren diese in 19 von 26 Sehnen (73,1%) nicht mehr nachzuweisen. Die Patienten mit verbleibenden Veränderungen klagten über bestehende Beschwerden. Verbleibende strukturelle Veränderungen scheinen in dieser Studie mit Schmerzen assoziiert zu sein [88]. In unserer *ET- Gruppe* konnte bei sechs von 14 Probanden Verbesserungen im Befund nachgewiesen werden. Somit konnten wir tendenziell die Ergebnisse *Ohbergs* reproduzieren. Sie führten diese auf eine verminderte Neovaskularisation im Doppler- US im ehemals betroffenen Versorgungsgebiet zurück [89]. Möglicherweise trifft dies auch auf unsere Probanden zu.

Weiterhin ist bekannt, dass je schwerer der Grad der Inhomogenitäten ist und je länger diese bestehen, die Prognose für den klinischen Erfolg einer Therapie schlechter wird [12, 21]. Unsere Probanden (19,7 Monate) waren im Vergleich zu anderen Studien (40 Monate) im Durchschnitt bereits doppelt so lange an AT

erkrankt [122]. Somit wäre eventuell ein besseres Abschneiden unserer Probanden möglich gewesen.

VT konnte in diesem Bereich der Sehne die besten Ergebnisse erzielen. Dies spricht dafür, dass in diesem Bereich der Sehne eine vulnerable Region für Anpassungsvorgänge vorliegt. Wir sind davon ausgegangen, dass am Sehnenansatz die besten Ergebnisse zu erwarten sind, da die Vibrationsquelle dem Wirkort (Achillessehne) am nächsten ist und somit unabgeschwächt auf Sehnenewebe trifft. Physikalisch betrachtet hätten wir mit höherfrequenten Vibrationen (kurzwelliger, weniger Transmission) in diesem Bereich möglicherweise bessere Ergebnisse erzielt.

Beide Therapien scheinen Einfluss auf die Sehnenstruktur zu haben. Vergleicht man die Ergebnisse des Palpationsschmerzes (VAS) (Sehnenmitte; VT: -39,18 [mm/VAS]; ET: -46,33 [mm/VAS]; WAS: -11,5 [mm/VAS]) mit dem US- Befund, so besteht in diesem Bereich der Sehne evtl. ein Zusammenhang zwischen verbesserten Sehnenstruktur (Ultraschallbefund) und reduziertem Schmerzempfinden (VAS- Schmerzfragebogen und Palpationsschmerzbefund).

Verdickungen im Sehnenverlauf:

Bei Patienten mit AT ist im Vergleich zu gesunden Probanden der Sehnen-durchmesser vergrößert [15]. *Leung et al.* konnte zeigen, dass eine Verdickung der Sehne im Sehnenansatz- oder Sehnenmittebereich spezifisch für eine AT sind und als diagnostisches Kriterium gelten kann [67]. Der Durchmesser der Achillessehne ist weiterhin unabhängig vom Alter eines Menschen bei allen ungefähr relativ gleich [93]. Wir konnten also davon ausgehen, dass eine Verdickung einen pathologischen Befund unabhängig vom Alter des Probanden darstellt.

Ohberg et al. konnte nach 12- wöchigem ET eine signifikante Reduzierung des Sehnen-durchmessers und Hypoechogenitäten in vormals verdickten Sehnen feststellen [88]. In einem Drittel unserer Probanden mit verdickter Sehne in der

ET- Gruppe konnte ebenfalls eine Reduzierung des Sehnenumfangs erzielt werden. Die VT- Gruppe schnitt in unserer Untersuchung im Gruppenvergleich jedoch am besten ab (35%).

Wie es durch das ET bzw. VT zu einer Abnahme der Sehnenverdickung kommt, ist unklar. Eine verminderte Sehnenvascularisation oder eine verminderte Extrazellulärmatrix (s. *Inhomogenitäten*) kann der Grund sein. Ob eine Reduktion des Sehnenumfangs mit einer Schmerzreduktion in diesem Bereich korreliert, konnte durch uns nicht geklärt werden. *Fredberg et al.* fanden heraus, dass sich verdickte, aber asymptotische Sehnen spontan zurückbilden können. Mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 45% entwickeln Fußballspieler mit diesen Befunden jedoch eine symptomatische AT [34]. Daher muss überlegt werden, ob ein ET bzw. VT bei Sportlern zukünftig zur Prävention einer AT eingesetzt werden sollte. Dagegen spricht eine Studie, bei der ein ET prophylaktisch an asymptotischen Probanden, allerdings Fußballspieler, durchgeführt wurde. Dieses führte zwar zu einer Reduktion der Hypoechogenitäten im US, jedoch nicht des Verletzungsrisikos [36].

Paratendinose, Tendinitis, Bursitis, Kalzifikationen:

Im Bereich der Paratendinose schnitt die VT- Gruppe am besten ab. Nur im Bereich der Tendinitis wurde mit dem ET eine deutliche Befundverbesserung erreicht.

Leung et al. weisen darauf hin, dass das Vorhandensein einer Verdickung im Bereich der Paratenon nicht als primäres, sondern zusätzliches sonografisches diagnostisches Kriterium der AT dient [67]. Gleiches gilt für die *Tendinitis*. Wie in der Einleitung schon erwähnt kann eine Paratendinose bzw. Tendinitis im Rahmen einer AT auftreten und unterschiedlicher Genese sein. Eine *Bursitis*, wie sie bei mehreren Probanden nach der Studie nicht mehr nachweisbar war (VT: 36,4%; ET: 22,2%; WAS: 21,4%), ist eine sonografisch diagnostizierte eigenständige Krankheitsentität und nicht spezifisch für eine AT [67]. Bei keinem Probanden (bis auf einen Teilnehmer der WAS- Gruppe) konnte eine *Verkal-*

kung nachgewiesen werden. Kalzifikationen der Sehne sind nicht spezifisch für eine AT und werden gleichermaßen in Probanden mit und ohne AT gefunden [67]. Aufgrund unserer und der Ergebnisse von *Leung et al.* bei Patienten mit chronischer AT (>6 Monate) kann davon ausgegangen werden, dass VT bzw. ET keinen Einfluss auf eine Verkalkung der Sehne hat.

4.2.4 Isokinetische Messung

Unsere Hypothese war, dass es nach 12-wöchigem VT zu einer größeren Zunahme der Kraft (max. Drehmoment [Nm]) bzw. Flexibilität der Sehne (Abnahme des dPRT [Nm]) kommt, als in der ET- bzw. WAS-Gruppe.

In den Kraftmessungen schnitt das VT im Gruppenvergleich tatsächlich am besten ab. Die größte Flexibilitätszunahme der Sehne wurde in der ET-Gruppe gemessen werden.

Die Testung des Sprunggelenks mit einem Isokinet verspricht gute Reliabilität und Sensitivität [30]. Die Evaluation des Therapieerfolges durch Funktionsmessungen bei Patienten mit AT wird von vielen Studien gefordert und ist mit dem Isokinet unter standardisierten Bedingungen möglich. Allerdings kommt es bei natürlichen Belastungen nie zu einer reinen isokinetischen Beanspruchung der Muskulatur.

Die Vergleichbarkeit der Studien ist eingeschränkt, da die Wahl des Dynamometers (versch. Anbieter), des Patientenguts (Alter, Geschlecht; Schmerzlokalisierung; etc.), des Messparameter (Grad, Nm), -ablauf (Winkelgeschwindigkeit; Knie gestreckt, gebeugt; etc.) und die genauen Definition des ROM (Plantar-, Dorsalflexion) zwischen diesen variieren.

4.2.4.1 Exzentrische Plantarflexion 20°/Sekunde

In den zwei Trainingsgruppen wurde eine deutliche Zunahme des maximalen Drehmoments (PTmax) in der *exzentrischen* Plantarflexion festgestellt (VT: von 174,05 auf 192,41 = +18,36 [Nm]; ET: von 155,33 auf 167 = +11,67 [Nm]; WAS: von 173,07 auf 175,93 = +2,86 [Nm]). Die geringe Verbesserung der WAS-

Gruppe ist eventuell auf Lerneffekte oder testimmanente Probleme zurückzuführen.

Obwohl in der ET- Gruppe die exzentrische Kraft spezifisch trainiert wurde, konnte in der VT- Gruppe ein vergleichsweise höherer Kraftzuwachs erzielt werden. Eine Zunahme isometrischer und dynamischer Beinkraft wurde in vielen Studien zu VT an meist gesunden Leistungssportlern bereits nachgewiesen [26, 27, 31, 94, 102]. Wir konnten diese auch an Freizeitsportlern mit AT nachweisen. Da im VT auch exzentrische Komponenten in den Übungen vorhanden waren bzw. diese sich nicht vermeiden ließen, wurden diese möglicherweise unbewusst mittrainiert.

Ähnlich wie in unserer Studie konnte in vorherigen Untersuchungen zu 12wöchigem ET bei AT im inter- wie intrapersonellen Vergleich die Kraft der exzentrischen Plantarflexion verbessert werden [3, 4, 83]. Auffallender Weise waren die Ausgangsniveaus dabei ähnlich der unserer Untersuchung. Die Ergebnisse waren nicht signifikant. Es lagen keine Studien zu VT und AT bzw. gesunden Probanden vor (Literaturrecherche Pubmed).

Tabelle 22: Studien zu 12 wöchigem ET bei AT (*nur Sehnenmitte*) mit dem Messparameter Verbesserung des max. Drehmoments PTmax [Nm] in der exzentrischen Plantarflexion.

Studie	Ergebnis [Nm]	Anmerkungen
Alfredson et al. [3]	+27 (von 152 auf 179) vs. +11 (von 171 auf 182)	Vergleich betroffene vs. gesunde Sehne innerhalb eines Prob. (p=n.s.)
Alfredson et al. [4]	+30 (von 150 auf 180) vs. +15 (von 170 auf 180)	Vergleich betroffene vs. gesunde Sehne innerhalb eines Prob. (p=n.s.)
Niesen- Vert. et al. [83]	+33 (von 36 auf 69) vs. +18 (von 32 auf 50)	Vergleich ET vs. konzentrisches Krafttraining (p=n.s.)

Weiterführende Untersuchungen konstatierten, dass bei Personen mit AT die exzentrische Plantarflexion im intra- wie interpersonellen Vergleich signifikant geringer als bei gesunden Personen ohne AT ist [2, 42, 43].

Tabelle 23: Studien mit Vergleich der Verbesserung des max. Drehmoments PTmax [Nm] in der exzentrischen Plantarflexion bei Probanden mit vs. ohne AT

Studie	Ergebnis [Nm]	Anmerkungen
Alfredson et al. [2]	135,8 +/- 95,5 vs. 157,4 +/- 38,4	Vergleich betroffene vs. gesunde Sehne innerhalb eines Prob. ($p < 0,05$)
Hagl.- Akerl. et al. [42]	122,4 +/- 20,1 vs. 140 +/- 15,2	Vergleich Läufer mit vs. ohne AT ($p < 0,05$)
Hirschmüller et al. [43]	147 vs. 170	Vergleich Läufer mit vs. ohne AT ($p < 0,05$)

Es ist nicht bekannt, ob im Gegensatz zur konzentrischen, eine reduzierte exzentrische Kraft der Plantarflexoren ein intrinsischer Risikofaktor der AT darstellt. Möglicherweise liegt der Entstehung einer AT ein exzentrisches Kraftdefizit in der Plantarflexion zu Grunde und führt im Verlaufe der Krankheit zu einer Schmerzentstehung. In diesem Falle könnte mit einem VT bzw. ET eventuell präventiv entgegengewirkt werden. Für das exzentrische Defizit als Auslöser spräche auch, dass die Ausgangsniveaus der Krafftähigkeit zwischen betroffenem und gesundem Bein differierten, sich nach 12wöchigem ET im Sinne eines Defizitenausgleiches aber wieder angleichen [3,4]. Andererseits ist nicht zu widerlegen, ob das exzentrische Kraftdefizit nicht etwa die Folge einer AT und somit einer Leistungseinschränkung ist.

Ob ein Zusammenhang zwischen der Verbesserung im Palpationsschmerz bzw. VAS- Schmerzfragebogen und den Verbesserungen in der exzentrischen Plantarflexion besteht, ist nicht bewiesen. Unsere Ergebnisse lassen dies jedoch stark vermuten.

4.2.4.2 Konzentrische Plantarflexion 60°/Sekunde

In den zwei Trainingsgruppen wurde ebenfalls eine deutliche Zunahme des max. Drehmoments (PTmax) in der *konzentrischen* Plantarflexion festgestellt (VT: +13,73 [Nm]; ET: +10,67 [Nm]). Die Zunahme in der WAS- Gruppe ist durch Lerneffekte zu erklären (WAS: +6,36 [Nm]).

Bei Personen mit AT ist in der verletzten Seite im Vergleich zur gesunden Seite die Plantarflexorenkraft signifikant herabgesetzt [2]. Dies gilt auch für den interpersonellen Vergleich zwischen Läufern mit bzw. ohne AT [42, 43]. *McCrary et al.* konnte diese Unterschiede im Gegensatz dazu nicht ausfindig machen [80]. Bekannt ist, dass eine reduzierte Plantarflexorkraft einen negativen Prädiktor bzw. Risikofaktor der AT darstellt [76].

Tabelle 24: Studien mit Vergleich der Verbesserung des max. Drehmoments PTmax [Nm] in der konzentrischen Plantarflexion bei Probanden mit vs. ohne AT

Studie	Ergebnis [Nm]	Anmerkungen
Alfredson et al. [2]	64,7+/-16,7 vs. 80,1+/-20,5	Vergleich betroffene vs. gesunde Sehne innerhalb eines Prob. (p<0,01)
Hagl. -Akerl. [42]	78,0+/-12,6 vs. 84,2+/-10,9	Vergleich Läufer mit vs. ohne AT (p<0,05)
Hirschmüller et al. [43]	88 vs. 100	Vergleich Läufer mit vs. ohne AT (p<0,05)
McCrary et al. [76]	87,5+/-4,6 vs. 90+/-3,3	Vergleich Probanden mit vs. ohne AT (p=n.s.)

Eine Kraftzunahme der Plantarflexion, wie in unserer Studie in der ET- Gruppe feststellbar, konnte in anderen Studien zu ET und AT (im inter- wie intrapersonellen Vergleich) ebenfalls nachgewiesen werden [3, 4, 83].

Tabelle 25: Studien zu 12 wöchigem ET bei AT (*nur Sehnenmitte*) mit dem Messparameter Verbesserung des max. Drehmoments PTmax [Nm] in der konzentrischen Plantarflexion.

Studie	Ergebnis [Nm]	Anmerkungen
Alfredson et al. [3]	+7,8 (von 69,1 auf 76,9) vs. +1,8 (von 78,6 auf 80,4)	Vergl. betroffene vs. gesunde Sehne innerhalb eines Prob. (p=n.s.)
Alfredson et al. [4]	+ ~10 (von 70 auf 80) vs. + ~3 (von 80 auf 83)	Vergl. betroffene vs. gesunde Sehne innerhalb eines Prob. (p=n.s.)
Niesen- Vert. et al. [83]	+33 (von 42 auf 75) vs. +15 (von 45 auf 60)	Vergleich ET vs. konzentrisches Krafttraining (p=n.s.)

Die Auswirkungen des VT auf die Krafftigkeiten verschiedener Muskelgruppen ergaben bisher widersprüchliche Ergebnisse [45, 70, 100]. Bei gesunden Probanden konnte mit VT (2 Wochen; 7 TE pro Woche; 25 Hz) eine signifikante Zunahme der Plantarflexorenkraft (60°/Sekunde) festgestellt werden (von 27,32 auf 39,34 Nm) [26]. *Mahieu et al.* wiesen bei gesunden Skiläufern mit VT ebenfalls eine signifikante Verbesserung der Plantarflexion nach. Sie führen die Erfolge auf eine erniedrigte Rekrutierungsschwelle motorischer Einheiten bei VT zurück, die die „schnellen“ Muskelfasern (Explosivkraft) aktivieren [77].

Anhand unserer Ergebnisse konnte erstmals bei Probanden mit AT eine Verbesserung der Plantarflexorkraft durch VT nachgewiesen werden. Weiterhin bestätigen unsere Ergebnisse die der vorhergehender Studien, nämlich dass es durch ET zu einer Verbesserung der konzentrischen Plantarflexorenkraft bei Probanden mit AT kommt. Es scheint, dass eine erniedrigte Kraft in der Plantarflexion ursächlich für die Entstehung einer AT mitverantwortlich sein könnte und nicht umgekehrt. Mit einem (kombinierten) VT bzw. ET könnte somit einer AT durch Stärkung der Plantarflexorkraft möglicherweise prophylaktisch entgegengewirkt werden.

4.2.4.3 Range of motion (ROM) – passive Dorsalflexion [Nm]

In den Trainingsgruppen konnte eine Zunahme des ROM in der Dorsalflexion (0-25°) bzw. Abnahme des dPRT [Nm] festgestellt werden (VT: -2,32; ET: -3,17; WAS -1,14 [Nm]).

Das gewählte Ausmaß der Dorsalflexion betrug 25° mit einer Ausgangsstellung von 90°- Winkel von US zu Fuß. Hierbei ist eine Aktivierung der Muskelreflexe durch die Dehnung der Wadenmuskulatur und somit eine Zunahme des dPRT möglich [121]. Durch die langsame Winkelgeschwindigkeit wurde jedoch versucht diese auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Anhand einer additiven EMG-Messung ließen sich Störeinflüsse weiter minimieren.

In einer Studie von *Haglund- Akerlind et al.* wurde festgestellt, dass bei Läufern ohne AT ein signifikant höherer Grad an Dorsalflexion (bei 10 Nm dPRT) als bei Läufern mit AT möglich ist (14,5+/- 5,7° bzw. 9,1+/-4,2°) [42]. *Mahieu et al.* konnten zeigen, dass Rekruten mit erniedrigter Dorsalflexion im Sprunggelenk einem höheren Risiko ausgesetzt waren eine AT zu entwickeln ($p = n. s.$) und der reduzierte ROM somit ein intrinsischer Risikofaktor der AT darstellt [76].

Mit einem sechswöchigen ET bei gesunden Probanden war bereits eine signifikante Abnahme des dPRT möglich (von 16,4+/-0,8 auf 12,7+/-0,6). Sie führten dies auf eine eventuell vermehrt in Kette geschaltete Sarkomere und somit auf strukturelle Veränderungen zurück [78]. In einer ebenfalls kürzlich erschienenen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Dehnbarkeit der muskulotendinären Einheit zum größten Teil in Beziehung zum dPRT [Nm] steht [53]. In unserer ET- Gruppe wurde ebenfalls eine deutliche Flexibilitätszunahme festgestellt. Möglicherweise trug dies zu einer Schmerzreduktion, gemessen im Palpationsschmerz und VAS- Schmerzfragebogen, bei.

In mehreren Studien an gesunden Sportlern konnte weiterhin gezeigt werden, dass mit VT eine kurz- und langfristige Verbesserung der Muskelflexibilität erreicht werden kann [24, 31, 60, 108]. Die Vibrationscharakteristika (TKS bzw.

GKS; Frequenzen; Dauer; etc.) variierten jedoch erheblich. Das Ausmaß des ROM wurde meist im „sit- and- reach“- Test und nie mittels Isokinet bestimmt. Die Wirkmechanismen des VT auf die erhöhte Flexibilität werden auf verschiedene neuronale, zirkulatorische und thermoregulative Faktoren zurückgeführt. VT führt letztlich zu einer Erhöhung der Schmerzschwelle was den limitierenden Faktor der Dehnungsfähigkeit darstellt [69]. Weiterhin werden ein vermehrter Blutfluss und dadurch erhöhter Muskeltemperatur oder eine durch Reflexe induzierte Relaxation des gedehnten Muskels diskutiert [45]. Unsere VT- Gruppe konnte, wenn auch nicht so ausgeprägt wie in der ET- Gruppe, einen um 11,6% verbesserten ROM erstmals bei Personen mit AT aufweisen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass ein reduzierter ROM der muskulo-tendinären Einheit einen Einfluss auf die Entstehung einer AT hat. Umgekehrt konnte durch unsere und andere Studien nachgewiesen werden, dass sich durch VT eine Flexibilitätszunahme erzeugen lässt. Möglicherweise könnte VT in Zukunft im Rahmen präventiver Maßnahmen bei Risikopersonen zur Verhinderung einer AT eingesetzt werden.

Ob durch unser Training die erreichte Flexibilitätserhöhung mit der Verbesserung der Beschwerdesymptomatik korreliert, konnte von uns nicht nachgewiesen werden. Vergleicht man die Ergebnisse des Palpationsschmerzes hiermit, ist dies jedoch tendenziell möglich.

4.2.4.4 Konzentrische Dorsalflexion 60°/Sekunde

In allen 3 Gruppen wurde eine leichte Zunahme des maximalen Drehmoments (PTmax) in der Dorsalflexion festgestellt (VT: +2,73; ET: +1,61; WAS: +1,71 [Nm]).

Vorangegangene Studien zeigten bereits, dass zwischen gesunden und kranken Personen (mit AT) kein signifikanter Unterschied in der konz. Dorsalflexionskraft besteht [43, 80]. Unsere Ergebnisse konnten dies nicht zweifelsfrei widerlegen.

Nur die VT- Gruppe konnte im Vergleich zur WAS- Gruppe eine Zunahme in der Dorsalflexionskraft aufweisen (11,1 vs. 7,3%). Interessanterweise konnte mit VT jedoch bereits bei gesunden Probanden (Sportlern) eine deutliche signifikante Verbesserung der konzentrischen Dorsalflexion nachgewiesen werden [26, 77]. Die Trainingsdauer betrug nur 2 bzw. 6 Wochen. Da die Probanden jedoch unter keiner AT litten, konnte in einem höheren, bekanntermaßen leistungssteigernden Bereich (24-26 Hz) trainiert werden. Diese Frequenzen waren im Rahmen unseres Trainings nicht zu applizieren, da sie im Vorfeld der Studie bei Probanden mehrfach zu verstärkten Schmerzen führten. Das Training musste in einem niederfrequenteren Bereich begonnen werden.

Es lag keine Studie zum Vergleich der Effektivität eines ET vor. Unsere Ergebnisse deuten jedoch nicht darauf hin, dass es mit dem 12wöchigem ET zu einer wirksamen Verbesserung der Dorsalflexionskraft kommt, da die ET- Gruppe im Vergleich zur WAS- Gruppe schlechter abschnitt. Weiterhin ist bekannt, dass eine reduzierte konz. Dorsalflexionskraft, im Vergleich zur Plantarflexionskraft, keinen Risikofaktor für die Entstehung einer AT darstellt [76].

4.3 Posttherapeutisch erhobene Daten

4.3.1 Befragung zu den Beschwerden nach Ende der Studienteilnahme

Die Likert- Skala ist für die Erhebung des Therapieerfolges im Bereich der AT bisher nicht evaluiert. Neben der VAS stehen der VISA- A- Score als valides und reliables Messinstrument, leider jedoch nicht in deutscher Sprache erhältlich, zur Verfügung [112].

Unsere Hypothese war, dass nach 12wöchigem Training mehr Probanden des VT ihre Beschwerden als verbessert einstufen, als Teilnehmer der ET- bzw. WAS- Gruppe. *77,3% der VT- Gruppe gaben nach Ende der Studie an, durch das Training eine Verbesserung ihrer Beschwerden erfahren zu haben. Die ET- Gruppe schnitt im Gruppenvergleich am besten ab (83,3%).*

Die Ergebnisse unserer Befragung sind insofern schlüssig, da sie mit unseren erhobenen Befunden in den Schmerzparametern (Palpationsschmerz bzw. VAS- Fragebogen) einhergehen. Dort schnitt das ET im Vergleich besser als das VT ab. Die VT- Gruppe schnitt in den Bereichen Ultraschall und Isokinetische Kraftmessung leicht besser ab. Diese beiden Parameter nehmen jedoch geringen Einfluss auf die Patientenzufriedenheit. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die VT- Gruppe im Durchschnitt eine TE pro Woche weniger als die ET- Gruppe trainiert hat. Möglicherweise hätte man mit gleicher Trainingscompliance bessere Endergebnisse und somit auch eine höhere Patientenzufriedenheit in der VT- Gruppe erzielen können.

Andere Studien zu ET kamen zu ähnlichen Ergebnissen in der Befragung zum persönlichen Trainingserfolg. Eine ET- Gruppe schnitt signifikant besser als eine WAS- Gruppe ab [103]. *Roos et al.* konnte mit 12wöchigem ET ebenfalls gute Ergebnisse auf einer 5- Punkt Skala erzielen [104].

4.3.2 Trainings- Compliance

Patienten der ET- Gruppe haben durchschnittlich 3,26 TE, die der VT- Gruppe im Schnitt eine Einheit weniger pro Woche absolviert.

Bisherige Studien zu ET haben dieses „verschrieben“, 2 mal täglich, 7 mal pro Woche zu Hause durchzuführen (~14 TE pro Woche) [3, 32, 103, 104, 111]. Somit war nicht sicher, wie oft die Probanden ihre Übungen tatsächlich durchgeführt haben.

In einer Studie von *de Vos et al.* wurde die Compliance anhand eines Tagebuchs bei 12wöchigem ET (14 TE/Woche) untersucht. Ca. $\frac{3}{4}$ der Probanden trainierten mehr als 50% der vorgesehenen TE, $\frac{1}{4}$ der Teilnehmer trainierte weniger als 50% der geplanten TE. Eine bessere Compliance war dabei mit einem besseren Ergebnissen in der Patientenzufriedenheit assoziiert [29]. *Roos et al.* berichteten, dass am Ende der 12 Wochen nur die Hälfte aller Patienten mehr als 50% der geplanten TE durchgeführt hatten. Auf Grund einer zu kleinen Fall-

zahl konnte kein Zusammenhang zwischen Compliance und Therapieerfolg hergestellt werden [104].

Die Anzahl der Trainingseinheiten erschienen uns unrealistisch, da fast alle Probanden tagsüber Ihrem Beruf nachgehen mussten und Freizeitsportler waren, die in diesem Umfang vorher noch nie trainierten.

Patienten der ET- Gruppe, die einen schnellen Erfolg verspürten, gaben an dieses auch zu Hause durchzuführen. Dass die VT- Gruppe im Schnitt eine TE pro Woche weniger trainierte, lässt eventuell auf einen Zusammenhang mit den Ergebnissen der 5-Punkt-Likert- Skala schließen (s. Kap. 4.3.1).

Durch unsere Methode war im Schnitt ein 2- 3maliges Training pro Woche unter Aufsicht gewährleistet. Im Gegensatz zu anderen ET-Studien (14TE/Woche) wurde mit unserem erheblich reduzierten Trainingsaufwand (3TE/Woche) ein vergleichbarer Erfolg erzielt. Da die Trainingsintensität individuell von uns angepasst wurde, war eine schmerzfreie Durchführung des Trainings möglich. Das ET, wie in bisherigen Studien angewandt, sah vor, dieses unter Schmerzen durchzuführen [3, 6, 32, 103, 111].

Für neue Studien kann unser Trainingsschema des VT sowie des ET durchaus als Grundlage dienen. Nur unter Betreuung der Patienten lässt sich die Compliance bestimmen, die wie oben beschrieben und in unserer Studie durchgeführt mit der Patientenzufriedenheit und somit besseren Endergebnissen korreliert [29].

4.4 Prätherapeutisch erhobene Daten

4.4.1 Anamnese

Charakteristisches Symptom der akuten wie chronischen AT ist *Schmerz*. Dieser tritt vor allem bei Belastung und am Morgen auf [25, 107]. Fast alle Probanden unserer Studie wiesen dieses Symptom auf. Der Zeitpunkt, an dem die Schmerzen bei unseren Probanden erstmalig auftraten, lag im Schnitt 40 Monate (Mittelwert) zurück. Dieser lag bei anderen Studien zu ET im Durchschnitt bei nur 19,7 Monaten [122].

Einschlusskriterium unserer Studie war eine seit mindestens 6 Monate bestehende AT. Hierzu konnten in anderen Studien zu ET und AT keine bzw. sehr unterschiedliche Angaben gefunden werden. Die Spanne betrug 4 Wochen bis 6 Monate, wobei anzuzweifeln ist, ob bei Bestehen einer 4wöchigen Schmerzsymptomatik bereits ein „chronischer“ Schmerz diagnostiziert werden kann. Da eine Schmerzchronifizierung mit strukturellen Veränderungen einhergehen kann, ist der Erfolg in anderen Studien zu hinterfragen. Möglicherweise bewirkt ET bzw. VT bei Probanden in einem früheren Krankheitsstadium noch bessere Ergebnissen, et vice versa. Es ist davon auszugehen, dass mit einer zunehmenden Schmerzdauer die AT schwerer zu behandeln bzw. der Therapieerfolg bei AT geringer ist.

Probanden unserer Studie waren fast ausschließlich Freizeitsportler, die vor allem Lauftraining (1,5- bis 2-mal pro Woche; Umfang ca. 15 km/Woche, max. 50km/Woche) durchführten (VT: 15,3; ET: 10 und WAS: 13,8 Jahre).

Mit ET konnte bisher bei Leistungs- und Freizeitsportlern mit AT gute Ergebnisse erzielt werden [3, 29, 32, 74, 103, 104, 111]. VT hingegen wurde meist an gesunden Leistungssportlern, jedoch noch nie an Patienten mit AT durchgeführt. Eindeutig eine Leistungssteigerung bewirkende Frequenzen (>20 Hz) wurden im Rahmen unserer Studie meist erst mit Studienende (Wochen 9 – 12) erreicht. Möglicherweise ließe sich mit einer längeren Trainingsdauer des VT, über die 12 Wochen hinaus, ein besseres Ergebnis erzielen.

Zu Bedenken ist weiterhin, dass der Leistungszuwachs umgekehrt proportional zum Trainingszustand ist [37]. Somit könnte der Leistungs- bzw. Kraftzuwachs in unserer Studie (Isokinetik) auf den geringen Trainingszustand der Probanden zurückgeführt werden.

4.4.2 Orthopädische Untersuchung

Fehlstellungen der Beinachse (Genu valgum/varum/recurvatum), gelten als intrinsische Risikofaktoren für die Entwicklung eines chronischen Sehnenschadens. Varus- bzw. Valgus- Fehlstellung des Sprunggelenks gehen mit verstärkter Pronation einher und prädisponieren die Entstehung einer AT [51].

Bei der Mehrzahl der Probanden konnte keine Achsabweichung oder ein Genu valgum diagnostiziert werden.

Für das VT ist zu beachten, dass es bei einer Fehlstellung der Beinachse zu einer veränderten Transmission der Schwingungen in den Körper und es dort so zu unterschiedlichen Effekten kommen kann [41]. Dies wirkt sich eventuell negativ auf die passiven Strukturen des Bewegungs- und Haltungssystems aus [18]. Der Therapieerfolg in der VT- Gruppe wurde so möglicherweise reduziert. Beobachtet werden konnte bei den Probanden der VT- Gruppe, dass sich die Fußposition nach dem Einschalten der Vibrationen ändert. Die Ursache könnte in den unterschiedlichen Anthropometrien bzw. Achsen liegen.

Fehlstellungen der Rückfußachse können eine AT hervorrufen [47, 51]. Eine Valgusstellung des Rückfußes wird durch eine Varusstellung des Vorfußes kompensiert und umgekehrt. Beides bringt eine prolongierte Pronation des Fußes und exzessive mechanische Kräfte mit sich, was eine Ursache von AT bzw. Achillessehnenrupturen bei Läufern darstellt [114]. *Kaufman et al.* konnten eine signifikante Beziehung zwischen verstärkter Rückfußinversion (Varusstellung) und AT nachweisen [52].

Eine veränderte Rückfußachse geht meist mit einer Fehlstellung der Beinachse einher. Somit gilt für das VT ebenso hier, dass es durch eine veränderte Einleitung der Vibrationen zu unterschiedlichen Effekten im Körper kommen kann und sich dies möglicherweise negativ auf den Behandlungserfolg unserer VT- Gruppe auswirkt [41].

Ein *Beckenschiefstand bzw. eine Beinlängendifferenz kleiner bzw. größer 1cm* als mögliche Ursache einer AT wird in Studien kontrovers diskutiert [51]. *Kvist et al.* konnte keinen Zusammenhang zwischen einem Beinlängenunterschied und einer AT bei Läufern finden. Die Meinungen über die Größe der relevanten Beinlängendifferenz variiert stark. So geht man davon aus, dass erst Größenunterschiede > 2 cm Symptome verursachen [64].

Fußformen wie ein Hohl- oder Plattfuß können zu Achillessehnenbeschwerden führen [51, 64]. *Kaufman et al.* konnte diese gefundenen Ergebnisse nicht bestätigen [52]. Auf Grund einer verringerten Schockabsorption wird angenommen, dass bei einem vorhandenen Hohlfuß die Gefahr einer Achillessehnenruptur erhöht ist [109].

Fast alle Teilnehmer unserer Studie hatten einen normalen *ROM des OSG bzw. USG* in der orthopädischen Untersuchung aufzuweisen. Da die Bestimmung des ROM untersucherabhängig ist, wurde diese von uns in der orthopädischen Untersuchung nur orientierend und am Isokineten objektiver bestimmt.

Verringerte Flexibilität bzw. ein reduzierter ROM (Dorsal- und Plantarflexion) der Wadenmuskulatur inklusive Achillessehne gilt als intrinsischer Risikofaktor für die Entstehung einer AT [52]. Aus mechanischer Sicht muss eine Sehne bzw. Muskel mit kleinem ROM in kürzerer Zeit die gleiche Last wie mit einem normalen ROM abfangen. Repetitive Überlastungen können so zu einer AT führen. Bei Läufern mit AT ist im Vergleich zu Läufern ohne AT der ROM signifikant reduziert [42]. *McCrary et al.* konnten diese Ergebnisse bei Freizeitsportlern (und Läufern) nicht in diesem Ausmaß reproduzieren [80].

Silbernagel et al. konnten nach 12 wöchigem ET keinen statistischen Unterschied im ROM des OSG bei Patienten mit AT feststellen (von $72\pm 6,9$ auf $73\pm 5,0^\circ$) [111]. Im Gegensatz dazu war dieser aber bei gesunden Probanden (nach ET) signifikant nachweisbar. Sie führen dies auf eine eventuell vermehrt in Kette geschaltete Sarkomere zurück [78].

In Studien zu VT bei gesunden Probanden konnte jedoch ein positiver Einfluss auf die Flexibilität festgestellt werden. Anhand von VT kann der ROM der Muskulatur bzw. Sehne vergrößert werden [108]. Die Wirkmechanismen sind nicht bekannt. Vermutet werden eine Erhöhung der Schmerzschwelle, ein vermehrter Blutfluss mit erhöhter Muskeltemperatur und/oder eine durch Reflexe induzierte Relaxation des gedehnten Muskels. Möglicherweise ließe sich mit einem kombinierten Training aus ET und VT eine Vergrößerung des ROM der Wadenmuskulatur erreichen.

4.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Kraft- bzw. Flexibilitätszunahme am Isokineten war in der VT- Gruppe in fast allen gemessenen Bereichen am höchsten. Strukturelle Verbesserungen im Ultraschall waren in der VT- Gruppe ebenfalls am häufigsten nachweisbar. Eine verminderte Krafftähigkeit in der Plantarflexionskraft sowie eine Flexibilitätsminderung der tendo- muskulären Einheit gelten als negative Prädiktoren der AT. Das VT könnte somit eventuell in Zukunft zur Prävention des AT eingesetzt und in zusätzlichen neuen Studien untersucht werden. Das von uns entworfene Trainingsprotokoll kann für nachfolgende VT- Studien als Grundlage dienen. Möglicherweise ließe sich anhand neu evaluierter Trainingsprotokolle bzw. veränderten Vibrationscharakteristika der Trainingserfolg abermals steigern. Die strukturellen Verbesserungen im US- Befund, vor allem VT- Gruppe, konnten durch uns noch in keinen statistischen Zusammenhang mit den Ergebnissen des subjektiven Schmerzempfindens gestellt werden, jedoch zeigten die Ergebnisse tendenzielle Verbesserungen der Schmerzsymptomatik. Den reduzierten Schmerzen in der VT- Gruppe könnte eine Verbesserung der Zusammenarbeit der muskulo- tendinären Einheit zu Grunde liegen, wie sie sich in unseren Kraft- und Flexibilitätssteigerungen messen ließ.

In den für den Therapieerfolg ausschlaggebenden subjektiven Schmerzenparametern (VAS- Schmerzfragebogen, Palpationsschmerz) konnte das ET die besseren Erfolge erzielen. Dieses Training sollte daher weiterhin als Therapie der Achillessehnen*schmerzen* der Sehnenmitte empfohlen werden. Im Vergleich zu vorhergehenden Studien konnten wir zeigen, dass ET mit 3 TE/Woche, schmerzfrei und betreut, wie es von uns durchgeführt wurde, für kommende Studien zu empfehlen ist. Unsere Studie zeigt zudem, dass die Anwendung des ET um die Indikation der AT des tendo- muskulären Übergangs und des Sehnenansatzes erweitert werden sollte, da es dort ebenfalls deutliche Verbesserungen im Befund erzielen konnte.

Da ein ET auf der Vibrationsplatte möglich wäre, ließe sich eventuell ein synergistischer Effekt bezüglich der Therapie der AT erzielen. *Bakthiary et al* konnten

bereits zeigen, dass sich mit einem VT vor einem ET der später auftretende Muskelkater reduzieren lässt [16]. Weitere Studien könnten hier anschließen.

Offen bleibt die Frage nach Wirkmechanismen bzw. den Veränderungen auf histologischer Ebene durch das VT. Ein besonderes Augenmerk könnte auf der Region des tendo- muskulären Überganges liegen, da dort mit ET (deutliche Schmerzreduktion) und VT (keine Schmerzreduktion) widersprüchliche Ergebnisse erzielt wurden. Da das VT auf das Schmerzempfinden ebenfalls positive Einflüsse gezeigt hat, liegen dem Erfolg des VT möglicherweise, wie dem ET, eine Reduktion der Neovaskularisation bzw. des Nerveneinwuchses oder aber der AT eine bisher unbekannte Ätiologie zu Grunde, die es zu erforschen gilt.

5 Zusammenfassung

Verletzungen der Achillessehne, welche sich oft in chronischen Schmerzen äußern, sind häufig bei Freizeitsportlern. Die Ätiopathogenese der Achillestendinopathie (AT) ist multifaktoriell bedingt. Vielfältige Therapieansätze für chronische AT wurden daher bereits in Studien untersucht – als Fortschritt in deren Therapie konnte das Exzentrische Krafttraining (ET) etabliert werden.

Ziel dieser Pilotstudie war es, zu untersuchen, ob sich die vielversprechenden Ergebnisse des neuartigen Vibrationstrainings (VT) im Bereich der neuromuskulären Leistungsverbesserungen auch bei Patienten mit chronischer AT messen lassen und es zu einer Schmerzreduktion kommt. Im Gruppenvergleich sollte die Effektivität eines konservativen ET sowie einer „wait- and- see“- Behandlung (WAS) untersucht werden.

Hierzu wurden 54 Patienten (♀: n=24, ♂: n=30; Alter: 45 Jahre [Ø], Bereich v. 25-55 Jahren; BMI 25 [Ø]) mit chronischer schmerzhafter AT (>6 Monate) konsekutiv in drei verschiedene Behandlungsgruppen für 12 Wochen randomisiert: VT (n=22), ET (n= 18) und WAS (n= 14). Die Evaluation des Therapieerfolges erfolgte nach 0 und 12 Wochen anhand folgender Zielgrößen: VAS- Schmerzfragebogen [mm/VAS], Palpationsschmerz [mm/VAS], Ultraschalluntersuchung und Isokinetische Kraftmessung [Nm].

Die ET- Gruppe zeigte in den Bereichen „Lauftraining“ ($p<0.05$) bzw. „sportliche Aktivitäten“ des VAS- Schmerzfragebogens eine deutliche Verbesserung (VT: -26 bzw. -22, ET: -55 bzw. -42, WAS: -15 bzw. -15 [mm/VAS]).

Der Palpationsschmerz war in allen drei Gruppen am stärksten in der Sehnenmitte ausgeprägt. In den beiden Trainingsgruppen konnten dort deutlich bessere Resultate ($p<0.05$) gegenüber der WAS- Gruppe erzielt werden (VT: -39, ET: -46, WAS: -12 [mm/VAS]). Am tendo- muskulären Übergang konnte nur das ET eine deutliche ($p<0.05$) Schmerzreduktion erzielen (VT: 0, ET: -33, WAS:

+13,5). Verbesserungen am Sehnenansatz waren in allen 3 Gruppen nachweisbar (VT: -16; ET: -19; WAS: -11).

In der Ultraschalluntersuchung war eine Abnahme des Sehnendurchmessers, der Inhomogenitäten am Sehnenansatz und im Sehnenverlauf, vor allem in der VT- Gruppe, nach Studienende zu verzeichnen (VT: 32/23/50, ET:28/0/33, WAS: 21/14/21[% der Probanden]).

Die VT- Gruppe wies tendenziell die höchsten Maximalkraftzuwächse in der exzentrischen bzw. konzentrischen Plantarflexion am Isokineten auf (VT:+18/+14, ET: +12/+11, WAS: +3/+6 [Nm]). Die Flexibilitätszunahme der muskulo- tendinären Einheit war in allen drei Gruppen nur gering ausgeprägt (VT: -2, ET: -3, WAS: -1 [Nm])

Das von uns modifizierte ET- Schema kann für weitere Studien empfohlen werden, ebenso für die Therapie der Achillessehnen*schmerzen* und auf den Bereich der AT des tendo- muskulären Übergangs ausgeweitet werden. Der tendo- muskuläre Übergang stellt eine spezielle Sehnenregion in Bezug auf Biomechanik und Histologie dar. Da in unserer Studie dort mit VT bzw. ET kontroverse Effekte festgestellt wurden, sollte dieser Bereich genauer untersucht werden.

Das VT konnte in den Funktionsparametern, gemessen mit dem Isokineten (Kraft, Flexibilität) und dem US (strukturelle Veränderungen), die besten Ergebnisse erzielen. Da eine verminderte Kraft bzw. Flexibilität als negative Prädiktoren der AT gelten, könnte das VT möglicherweise zur Prävention des Achillessehnen*schadens* eingesetzt werden. Unser Trainingsprotokoll könnte als Grundlage dienen. Durch das VT konnten Schmerzen in der Sehnenmitte, ähnlich dem ET, deutlich reduziert werden. VT steht in Zukunft somit auch als Therapieoption der AT zur Wahl.

Da ein ET kombiniert mit VT auf einer Vibrationsplatte möglich wäre, ließen sich eventuell synergistische positive Effekte hinsichtlich der Besserung einer AT erzielen.

6 Literaturverzeichnis

- (1) Ahmed I, Lagoloulos M, McConnell P, Soames R, Sefton G (1998). "Blood supply of the Achilles tendon." *J Orthop Res.* 16(5): 591-596.
- (2) Alfredson H, Pietila T, Ohberg L, Lorentzon R (1998a). "Achilles Tendinosis and Calf Muscle Strength: The Effect of Short-Term Immobilization after Surgical Treatment." *Am J Sports Med* 26(2): 166-171.
- (3) Alfredson H, Pietila T, Jonsson P, Lorentzon R (1998b). "Heavy-Load Eccentric Calf Muscle Training For the Treatment of Chronic Achilles Tendinosis." *Am J Sports Med* 26(3): 360-366.
- (4) Alfredson H, Nordström P, Pietila T, Lorentzon R (1999a). "Bone Mass in the Calcaneus after Heavy Loaded Eccentric Calf-Muscle Training in Recreational Athletes with Chronic Achilles Tendinosis." *Calcif Tissue Int* 64(5): 450-455.
- (5) Alfredson H, Thorsen K, Lorentzon R (1999b). "In situ microdialysis in tendon tissue: high levels of glutamate, but not prostaglandin E2 in chronic Achilles tendon pain." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7(6): 378-381.
- (6) Alfredson H, Lorentzon R (2000). "Chronic Achilles Tendinosis: recommendations for treatment and prevention." *Sports Med.* 29(2): 135-46.
- (7) Alfredson H, Ohberg L, Forsgren S (2003a). "Is vasculo-neural ingrowth the cause of pain in chronic Achilles tendinosis?" *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11(5): 334-338.
- (8) Alfredson, H, Lorentzon R (2003b). "Intratendinous glutamate levels and eccentric training in chronic Achilles tendinosis: a prospective study using microdialysis technique." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11(3): 196-199.
- (9) Alfredson H, Cook J (2007). "A treatment algorithm for managing Achilles tendinopathy: new treatment options." *Br J Sports Med* 41(4): 211-216.
- (10) Almekinders LC, Temple J (1998). "Etiology, diagnosis, and treatment of tendonitis: an analysis of the literature." *Med Sci Sports Exerc* 30(8): 1183-1190.
- (11) Altman DG, Bland JM (1997). "Statistics Notes: Units of analysis." *BMJ* 314: 1874-1876.

- (12) Archambault JM, Wiley JP, Bray RC (1998). "Can Sonography Predict the Outcome in Patients with Achillodynia?" *J Clin Ultrasound* 26: 335-339.
- (13) Astrom M, Westlin N (1994). "Blood flow in chronic Achilles tendinopathy." *Clin Orthop Relat Res.* 308: 166-72.
- (14) Astrom M, Rausing A (1995). "Chronic Achilles Tendinopathy: A Survey of Surgical and Histopathologic Findings." *Clin Orthop Relat Res* 316: 151-164.
- (15) Astrom M, Gentz CF, Nillson 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 Radiology* 25(7): 615-620.
- (16) Bakhtiary AH, Safavi-Farokhi Z, et al. (2007). "Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise." *Br J Sports Med* 41(3): 145-148.
- (17) Bershin G, Sommer HM (2004). "Vibrationskrafttraining und Gelenkstabilität: EMG-Untersuchungen zur Wirkung von Vibrationsfrequenz und Körperhaltung auf Muskelaktivierung und -koaktivierung." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55 (6): 152-6
- (18) Berschin G, Fischer H, Sommer HM (2006). "Zur Bedeutung der Körperhaltung beim Training auf Vibrationsplattformen." *Zeitschrift für Physiotherapeuten* 58 (3): 208 -14
- (19) Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O (1999). "Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles." *Eur J Appl Physiol* 79(4): 306-311.
- (20) Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, Viru M, De Lorenzo A, Viru M (2000). "Hormonal responses to whole-body vibration in men." *Eur J Appl Physiol* 81(6): 449-454.
- (21) Campbell RS, Grainger A (2001). "Current concepts in imaging of tendinopathy." *Clin Radiol.* 56(4): 253-67.
- (22) Cardinale M, Bosco C (2003). "The use of vibration as an exercise intervention." *Exerc Sport Sci Rev* 31(1): 3-7.
- (23) Cardinale M, Rittweger J (2006a). "Vibration exercise makes your muscles and bones stronger: fact or fiction?" *J Br Menopause Soc* 12: 12-18.

- (24) Cochrane DJ, Stannard SR (2005). "Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players." *Br J Sports Med* 39(11): 860-865.
- (25) Cook JL, Khan KM, Purdam C (2002). "Achilles tendinopathy." *Man Ther* 7(3): 121-30.
- (26) Costantino C, Pogliacomi F, Soncini G (2006). "Effect of the vibration board on the strength of ankle dorsal and plantar flexor muscles: a preliminary randomized controlled study." *Acta Biomed* 77(1): 10-6.
- (27) Delecluse C, Roelants M, Verschueren S (2003). "Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training." *Med Sci Sports Exerc* 35(6): 1033-41.
- (28) de Vos RJ, Weir A, Cobben LPJ, Tol JL (2007a). "The Value of Power Doppler Ultrasonography in Achilles Tendinopathy: A Prospective Study." *Am J Sports Med* 35(10): 1696-1701.
- (29) de Vos RJ, Weir A, Visser RJA, de Winter TC, Tol JL (2007b). "The additional value of a night splint to eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy: a randomised controlled trial." *Br J Sports Med* 41(7): e5-.
- (30) Eriksson E (2005). "Isokinetic testing and endurance tests of the ankle." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 13(1): 1.
- (31) Fagnani F, Giombibi A, Di Cesare A, Pigozzi F, Di Salvo V (2006). "The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes." *Am J Physical Med & Rehabil* 85(12): 956-62.
- (32) Fahlstrom M, Jonsson P, Lorentzon R, Alfredson H (2003). "Chronic Achilles tendon pain treated with eccentric calf-muscle training." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 11(5): 327-333.
- (33) Ferstel D, Ferstel R (2003). "Gebrauchsanweisung Rev.: 1/Stand: Dezember 2003: 95
- (34) Fredberg U, Bolvig L (2002). "Significance of Ultrasonographically Detected Asymptomatic Tendinosis in the Patellar and Achilles Tendons of Elite Soccer Players: A Longitudinal Study." *Am J Sports Med* 30(4): 488-491.

- (35) Fredberg UBL, Pfeiffer-Jensen M, Clemmensen D, Jakobsen BW, Stengaard-Pedersen K (2004). "Ultrasonography as a tool for diagnosis, guidance of local steroid injection and, together with pressure algometry, monitoring of the treatment of athletes with chronic jumper's knee and Achilles tendinitis: a randomized, double-blind, placebo-controlled study." *Scand J Rheumatol* 33(2): 94-101.
- (36) Fredberg U, Bolvig L, Andersen NT (2008). "Prophylactic Training in Asymptomatic Soccer Players With Ultrasonographic Abnormalities in Achilles and Patellar Tendons: The Danish Super League Study." *Am J Sports Med* 36(3): 451-460.
- (37) Frey G, Hildenbrandt E (1994). "Einführung in die Trainingslehre, Teil 1: Grundlagen." Hofmann-Verlag Schorndorf.
- (38) Gajdosik RL, Vander Linden DW, Williams AK (1999). "Influence of Age on Length and Passive Elastic Stiffness Characteristics of the Calf Muscle-Tendon Unit of Women." *Phys Ther* 79(9): 827-838.
- (39) Grechenig W, Clement H, Bratschitsch G, Fankhauser F, Peicha G (2002). "[Ultrasound diagnosis of the Achilles tendon]." *Orthopade* 31(3): 319-25.
- (40) Granville JM (1881). "Treatment of pain by mechanical vibrations." *The Lancet* 117(2999): 286-8.
- (41) Haas CT, Turbanski S (2004). "Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55(2).
- (42) Haglund-Akerlind Y, Eriksson E (1993). "Range of motion, muscle torque and training habits in runners with and without Achilles tendon problems." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1(3-4): 195-9
- (43) Hirschmüller A, Baur H, Müller S, Mayer F (2005). "Quantification of strength capacities and neuromuscular efficiency in healthy runners and runners with Achilles tendon complaints." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56(2): 39-44.
- (44) Huber G (2006). "Vibrationstraining in der Sporttherapie." *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* 22 (2): 46-51.
- (45) Issurin (2005). "Vibrations and their applications in sport. A review." *J Sports Med Phys Fitness* 45(3): 324-36
- (46) Järvinen M, Kannus P, Kvist M, Isola J, Lehto M, Jozsa L (1991). "Macromolecular composition of the myotendinous junction." *Exp Mol Pathol* 55(3): 230-7.

- (47) Järvinen TA, Kannus P, Paavola M, Jarvinen TL, Jozsa L, Jarvinen M (2001). "Achilles tendon injuries." *Curr Opin Rheumatol*. 13(2): 150-5.
- (48) Jonsson P, Alfredson H, Sunding K, Fahlstrom M, Cook JL (2008). "New regimen for eccentric calf muscle training in patients with chronic insertional Achilles tendinopathy: Results of a pilot-study
- (49) Jordan MJ, Norris SR, Smith DJ, Herzog W (2005). "Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations." *J Strength Cond Res* 19(2): 459-66.
- (50) Kader D, Saxena A, Movin T, Maffulli N (2002). "Achilles tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management." *Br J Sports Med* 36(4): 239-249.
- (51) Kannus P (1997). "Etiology and pathophysiology of chronic tendon disorders in sports." *Scand J Med Sci Sports* 7(2): 78-85.
- (52) Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, Johnsson CW, Cullinson TR (1999). "The Effect of Foot Structure and Range of Motion on Musculoskeletal Overuse Injuries." *Am J Sports Med* 27(5): 585-593.
- (53) Kawakami Y, Kanehisa H, Fukunaga T (2008). "The relationship between passive ankle plantar flexion joint torque and gastrocnemius muscle and achilles tendon stiffness: implications for flexibility." *J Orthop Sports Phys Ther*. 38(5): 269-76.
- (54) Kerschan-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, Imhof H (2001). "Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume." *Clin Physiol* 21(3): 377-382.
- (55) Khan KM, Cook JL, Bonar F, Harcourt P, Astrom M (1999). "Histopathology of common tendinopathies. Update and implications for clinical management." *Sports Med* 27(6): 393-408.
- (56) Khan KM, Cook JL, et al. (2002). "Time to abandon the "tendinitis" myth." *BMJ* 324(7338): 626-627.
- (57) Khan K, Cook J (2003). "The painful nonruptured tendon: clinical aspects." *Clin Sports Med* 22(4): 711-25.
- (58) Khan, KM, Forster BB, Robinson J, Cheung Y, Louis L, Maclean L, Taunton JE (2003). "Are ultrasound and magnetic resonance imaging of value in assessment of Achilles tendon disorders? A two year prospective study." *Br J Sports Med* 37(2): 149-153.

- (59) Kingma JJ, de Knikker R, Wittink HW, Takken T (2006). "Eccentric overload training in patients with a chronic Achilles tendinopathy: a systematic review " *Br J Sports Med*: 41(6):e3.
- (60) Kinser AMR, Michael W, O'Bryant HS, Ayres CA, Sands WA, Stone MH (2008). "Vibration and Stretching Effects on Flexibility and Explosive Strength in Young Gymnasts." *Med Sci Sports Exerc*. 40(1): 133-40.
- (61) Kjaer (2004). "Adaptions of tendons to physical exercise." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55(5): 148-151.
- (62) Knobloch K (2006). "Eccentric training in achilles tendinopathy - is it harmful to tendon microcirculation?" *Br J Sports Med* 41(6):e2 .
- (63) Komi PV, Fukashiro S, Jarvinen M (1992). "Biomechanical loading of Achilles tendon during normal locomotion." *Clin Sports Med* 11(3): 521-31.
- (64) Kvist (1994). "Achilles tendon injuries in athletes." *Sports Med* 18(3): 173-201.
- (65) Langberg H, Ellingsgaard H, Madsen T, Jansson J, Magnusson SP, Aasgaard P, Kjaer M (2007). "Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis." *Scand J Med Sci Spo* 17(1): 61-66.
- (66) Leadbetter (1992). "Cell-matrix response in tendon injury." *Clin Sports Med* 11(3): 533-78.
- (67) Leung JL, Griffith JF (2008). "Sonography of Chronic Achilles Tendinopathy: A Case- Control- Study." *J Clin Ultrasound* 36(1): 27-32.
- (68) Litcher-Kelly L, Martino SA, Broderick JE, Stone AA (2007). "A Systematic Review of Measures Used to Assess Chronic Musculoskeletal Pain in Clinical and Randomized Controlled Clinical Trials." *J Pain* 8(12): 906-913.
- (69) Lundeborg T (1984). "Long-term results of vibratory stimulation as a pain relieving measure for chronic pain." *Pain* 20(1): 13-23.
- (70) Luo J, McNamara B, Moran K (2005). "The use of vibration training to enhance muscle strength and power." *Sports Med* 35(1): 23-41.
- (71) Maffulli N (1998). "Overuse tendon conditions: Time to change a confusing terminology." *Arthroscopy* 14(8): 840-843.

- (72) Maffulli N, Wong J, Almekinders LC (2003a). "Types and epidemiology of tendinopathy." *Clin Sports Med* 22(4): 675-92.
- (73) Maffulli N, Kenward MG, Testa V, Capasso G (2003b). "Clinical diagnosis of Achilles tendinopathy with tendinosis." *Clin J Sport Med*. 13(1): 11-5.
- (74) Mafi N, Lorentzon R, Alfredson H (2001). "Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 9(1): 42-47.
- (75) Maganaris CN, Narici MV, Almekinders LC, Maffulli N (2004). "Biomechanics and pathophysiology of overuse tendon injuries: ideas on insertional tendinopathy." *Sports Med* 34(14): 1005-17.
- (76) Mahieu NN, Witvrouw E, Stevens V, Van Tiggelen D, Roget P (2006a). "Intrinsic Risk Factors for the Development of Achilles Tendon Overuse Injury: A Prospective Study." *Am J Sports Med* 34(2): 226-235.
- (77) Mahieu NN, Witvrouw E, Van de Voorde D, Michilsens D, Arbyn V, Van den Broecke W (2006b). "Improving strength and postural control in young skiers: whole-body vibration versus equivalent resistance training." *J Athl Train* 41(3): 286-93.
- (78) Mahieu NN, McNair P, Cools A, D'Haen C, Vandermeulen K, Witvrouw E (2008). "Effect of Eccentric Training on the Plantar Flexor Muscle-Tendon Tissue Properties." *Med Sci Sports Exerc*. 40(1): 117-23.
- (79) Mayer F, Horstmann T, Dickhut H (1994). "Isokinetik - eine Standortbestimmung." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 45(7/8).
- (80) McCrory JL, Martin DF, Lowery RB, Cannon DW, Curl WW, Read HM Jr, Hunter DM, Craven T, Messier SP (1999). "Etiologic factors associated with Achilles Tendinitis in runners." *Med Sci Sports Exerc*. 31(10): 1374-81.
- (81) Nazarov (1987). "Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method." *Theor Pract Phys Culture (Mosc.)* 12: 37-39.
- (82) Nicol AM, McCurdie I, Etherington J (2006). "Use of Ultrasound to Identify Chronic Achilles Tendinosis in an Active Asymptomatic Population." *J AR Army Med Corps* 152(4): 212-216.
- (83) Niesen-Vertommen SL, Taunton JE, Clement DB, Mosher RE (1992). "The effect of eccentric versus concentric exercise in the management of Achilles tendonitis." *Clin J Sport Med* 2(1): 109-113.

- (84) Nordlund MM, Thorstensson A (2007). "Strength training effects of whole-body vibration?" *Scand J Med Sci Sports* 17(1): 12-17
- (85) O'Brien M (1992). "Functional Anatomy and physiology of tendons." *Clin Sports Med* 11(3): 505-520
- (86) Ohberg L, Lorentzon R, Alfredson H (2001). "Neovascularisation in Achilles tendons with painful tendinosis but not in normal tendons: an ultrasonographic investigation." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 9(4): 233-238.
- (87) Ohberg L, Alfredson H, Khan KM (2002). "Ultrasound guided sclerosis of neovessels in painful chronic Achilles tendinosis: pilot study of a new treatment." *Br J Sports Med* 36(3): 173-175.
- (88) Ohberg L, Lorentzon R, Alfredson H, Maffulli N (2004a). "Eccentric training in patients with chronic Achilles tendinosis: normalised tendon structure and decreased thickness at follow up." *Br J Sports Med* 38(1): 8-11.
- (89) Ohberg, L, Alfredson H (2004b). "Effects on neovascularisation behind the good results with eccentric training in chronic mid-portion Achilles tendinosis?" *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 12(5): 465-470.
- (90) Paavola M, Paakkala T, Kannus P, Jarvinen M (1998). "Ultrasonography in the differential diagnosis of Achilles tendon injuries and related disorders. A comparison between pre-operative ultrasonography and surgical findings." *Acta Radiol.* 39(6): 619-9.
- (91) Paavola M, Orava S, Leppilahti J, Kannus P, Jarvinen M (2000a). "Chronic Achilles Tendon Overuse Injury: Complications After Surgical Treatment: An Analysis of 432 Consecutive Patients." *Am J Sports Med* 28(1): 77-82.
- (92) Paavola M, Kannus P, Pakkala T, Pasanen M, Jarvinen M (2000b). "Long-Term Prognosis of Patients With Achilles Tendinopathy: An Observational 8-Year Follow-up Study." *Am J Sports Med* 28(5): 634-642.
- (93) Pang BSF, Ying M (2006). "Sonographic Measurement of Achilles Tendons in Asymptomatic Subjects: Variation With Age, Body Height, and Dominance of Ankle." *J Ultrasound Med* 25(10): 1291-1296.
- (94) Paradisis G, Zacharogiannis E (2007). "Effects of WBV Training on sprint running kinematics and explosive strength performance." *J Sports Sci Med* 6(1): 44-49.

- (95) Petersen W, Pufe T, Pfrommer S, Tillmann B (2005). "Überlastungsschäden der Achillessehne: Die Bedeutung von Blutgefäßversorgung und Angiogenese." *Orthopäde* 34(6): 533-542.
- (96) Petersen W, Welp R, Rosenbaum D (2007). "Chronic Achilles Tendinopathy: A Prospective Randomized Study Comparing the Therapeutic Effect of Eccentric Training, the AirHeel Brace, and a Combination of Both." *Am J Sports Med* 35(10): 1659-1667.
- (97) Price DD, McGrath PA, Rafii A, Buckingham B (1983). "The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain." *Pain* 17(1): 45-56.
- (98) Puddu G, Ippolito E, Postacchini F (1976). "A classification of Achilles tendon disease." *Am J Sports Med.* 4(4): 145-50.
- (99) Randall JM, Matthews RT, Stiles MA (1997). "Resonant frequencies of standing humans." *Ergonomics* 40: 879-886.
- (100) Rehn B, Lidström J, Skoglund J, Lindström B (2007). "Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review." *Scand J Med Sci Sports* 17(1): 2-11.
- (101) Rittweger J, Ehrig J, Just K, Mutschelknauss M, Kirsch KA, Felsenberg D (2002). "Oxygen Uptake in Whole-Body Vibration Exercise: Influence of Vibration Frequency, Amplitude, and External Load." *Int J Sports Med*(6): 428-432.
- (102) Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S (2004). "Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Training on Body Composition and Muscle Strength in Untrained Females." *Int J Sports Med*(1): 1-5.
- (103) Rompe, JD, Nafe B, Furia JP, Maffulli N (2007). "Eccentric Loading, Shock-Wave Treatment, or a Wait-and-See Policy for Tendinopathy of the Main Body of Tendo Achillis: A Randomized Controlled Trial." *Am J Sports Med* 35(3): 374-383
- (104) Roos EM, Engstrom M, Lagerquist A, Soderberg B (2004). "Clinical improvement after 6 weeks of eccentric exercise in patients with mid-portion Achilles tendinopathy - a randomized trial with 1-year follow-up." *Scand J Med Sci Spo* 14(5): 286-295.
- (105) Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K (2004). "Prevention of Postmenopausal Bone Loss by a Low-Magnitude, High-Frequency Mechanical Stimuli: A Clinical Trial Assessing." *J Bone Miner Res* 19(3): 343-351.

- (106) Runge M (2006). "Die Vibrationsbehandlung - neue Wege in Therapie und Training von Muskelfunktionen." *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* (2): 70-74.
- (107) Sandmeier R, Renstrom P (1997). "Diagnosis and treatment of chronic tendon disorders in sports." *Scand J Med Sci Sports* 7(2): 96-106.
- (108) Sands WA, McNeal JR, Stone MH, Russell EM, Jemni M (2006). "Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term." *Med Sci Sports Exerc* 38(4): 720-5.
- (109) Schepsis AA, Jones H, Haas AL (2002). "Achilles Tendon Disorders in Athletes." *Am J Sports Med* 30(2): 287-305.
- (110) Sharma P, Maffulli N (2005). "Tendon Injury and Tendinopathy: Healing and Repair." *J Bone Joint Surg Am* 87(1): 187-202.
- (111) Silbernagel K, Thomee R, Thomee P, Karlsson J (2001). "Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain - a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods" *Scand J Med Sci Sports* 11(4): 197-206.
- (112) Silbernagel K, Thomee R, Karlsson J (2005). "Cross-cultural adaptation of the VISA-A questionnaire, an index of clinical severity for patients with Achilles tendinopathy, with reliability, validity and structure evaluations." *BMC Musc Disord* 6(1): 12.
- (113) Silbernagel KG, Gustavsson A, Thomee R, Karlsson J (2006). "Evaluation of lower leg function in patients with Achilles tendinopathy." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14(11): 1207-1217.
- (114) Smart GW, Taunton JE, Clement DB (1980). "Achilles tendon disorders in runners-a review." *Med Sci Sports Exerc.* 12(4): 231-243.
- (115) Stanish WD, Rubinovich R, Curwin S (1986). "Eccentric exercise in chronic tendinitis." *Clin Orthop Relat Res.* 208(1): 65-8
- (116) Stergioulas A, Stergioula M, Aarskog R, Lopes-Martins RAB, Bjordal JM (2008). "Effects of Low-Level Laser Therapy and Eccentric Exercises in the Treatment of Recreational Athletes With Chronic Achilles Tendinopathy." *Am J Sports Med* 36(5): 881-887.
- (117) Syha R, Peters M, Birnesser H, Niess A, Hirschmüller A, Dickhuth HH, Sandrock M (2007). "Computer-based quantification of the mean Achilles tendon thickness in ultrasound images: effect of tendinosis." *Br J Sports Med* 41(12): 897-902.

- (118) Tuite DJ, Renstrom P, O'Brien M (1997). "The aging tendon." *Scand J Med Sci Sports* 7(2): 72-77.
- (119) Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S (2004). "Effect of 6-Month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study." *J Bone Min Res* 19(3): 352-359.
- (120) Weiß C (2005). "Basiswissen Medizinische Statistik". Springer Verlag, 3. Auflage.
- (121) Whitehead NP, Weerakkody NS, Gregory JE, Morgan DL, Proske U (2001). "Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise." *J Physiol* 533(2): 593-604.
- (122) Woodley BL, Newsham-West RJ, Baxter GD, Kjaer M, Koehle MS (2007). "Chronic tendinopathy: effectiveness of eccentric exercise." *Br J Sports Med* 41(4): 188-198.

Danksagung

Ich danke allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Professor Dr. Thomas Horstmann

für die Überlassung des Themas, der großzügigen Bereitstellung der Untersuchungseinrichtungen, der hilfreichen Unterstützung bei auftretenden Fragen und anregende Diskussionen.

Frau Dr. Vanessa Fröhlich

als unverzichtbarer Wegbegleiter. Sie stand mir bei der Planung, Durchführung und Ausarbeitung dieser Arbeit mit Ihrer fachlichen Kompetenz und großem zeitlichen Engagement stets mit maximaler Motivation zur Seite.

Herrn Dr. Walter Rapp

für die gute Einarbeitung in die Meßmethoden und tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Studie. Seine Anmerkungen und Hinweise waren immer sehr hilfreich.

Den Mitarbeitern des Instituts für medizinische Biometrie, insbesondere Frau Dipl. Biol. Corinna Engel

für die Betreuung bei statistischen Fragen und Ausformulierungen des Ergebnisteils, sowie zahlreiche Anregungen und Denkanstöße, die über die Datenauswertung hinausgingen.

Den Mitarbeitern des Instituts für Biomechanik und des Zentrums für Diagnostik, Training und Therapie

für die engagierte und humorvolle Unterstützung bei der Arbeit mit den Patienten.

Frau Andrea Gauger

für die ermutigende und liebevolle Begleitung bei der Entstehung dieser Arbeit.