

Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Vergleich klinisch-apparativer Assessments  
bei Sprunggelenksdistorsionen mit Bandverletzung**

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

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

von Maria Felsberg  
geboren am 25.08.1993 in Sonneberg

Betreuer:

Prof. Dr. med. habil. Karl-Stefan Delank,  
apl. Prof. Dr. habil. René Schwesig,  
Dr. med. Kay Brehme

Gutachter:

1. Prof. Dr. med. Philipp Drees, Mainz  
2. Prof. Dr. med. Hans Zwipp, Dresden

03.03.2020

10.09.2020

In Dankbarkeit  
meiner Familie  
gewidmet

## Referat

Ziel dieser längsschnittlichen posturographischen Untersuchung war es, unterschiedliche klinische und apparative Assessments zur Diagnostik von Sprunggelenksdistorsionen mit Bandverletzung miteinander zu vergleichen und einen möglichen diagnostischen Nutzen des Interaktiven Balance Systems (IBS) herauszuarbeiten. Die Studie fand im Zeitraum von Mai 2016 bis Februar 2018 statt. Hierzu wurden Patienten rekrutiert, die sich akut oder kurz nach externer ärztlicher Behandlung in der Sportklinik Halle mit einer Sprunggelenksdistorsion mit Bandverletzung vorstellten. Insgesamt wurden 79 Probanden in die Studie eingeschlossen, davon absolvierten 60 alle Tests. Es wurden 4 Messzeitpunkte (MZP) festgelegt. MZP 1 fand akut bei Vorstellung, MZP 2 nach 3, MZP 3 nach 6 und MZP 4 nach 12 Wochen statt. Diese beinhalteten immer einen Fragebogen zum Probanden, eine manuelle Untersuchung und die IBS-Messung. Zum MZP 4 wurde zusätzlich ein Abschlusstest mit zwei Fragenbögen (SF12, FAOS), dem BESS-Score und Messungen des Drop Jumps sowie des 15 s Tappings mittels SpeedCourt durchgeführt. Die Patienten wurden anfangs mit einer Bandage und einer Lymphdrainage versorgt. Ab Woche 3 begannen die Teilnehmer eine Krankengymnastik und wurden den Therapiearmen, Kontrollgruppe mit standardmäßiger Physiotherapie oder der Interventionsgruppe mit zusätzlicher Physiotherapie auf dem Zeptor oder dem Posturomed, zugeteilt. Dies ist Gegenstand einer weiteren Dissertation. Die Auswertung erfolgte mittels des Statistikprogramms SPSS Version 25.0. Mit 81% stellte die Supination die häufigste Verletzungsursache dar. Mithilfe des IBS konnte der Heilungsverlauf nachvollzogen werden. Auffällig war, dass in allen Frequenzbereichen keine Referenzwerte erreicht werden konnten. In den Parametern Stabilitätsindikator (ST), Gleichgewichtsverteilungsindex (WDI), Synchronisation (Synch), medio-laterale Gewichtsverteilung (Left) und anterior-posteriore Gewichtsverteilung (Heel) wurden die Referenzwerte erreicht. Dabei waren die größten Veränderungen ( $\eta_p^2 \geq 0,226$ ) in Synch und Left (MZP 1 zu MZP 2) sowie in Left - rechtsseitig Verletzte (MZP 2 zu MZP 3) und in Left - linksseitig Verletzte (MZP 3 zu MZP 4) zu sehen. Ab MZP 3 zeigte sich erneut eine Tendenz hin zu einer erhöhten Fersenbelastung. Die IBS Ergebnisse ließen sich mit der Schmerzangabe der Probanden korrelieren. So zeigten Patienten ohne Schmerz eine tendenziell größere posturale Leistungsfähigkeit. Der größte relevante Unterschied fand sich zu MZP 4 im Parameter F1 ( $\eta_p^2 = 0,440$ ). Hier hatten Teilnehmer ohne Schmerz relevant niedrigere Werte als Patienten mit Schmerz bei Belastung. Von allen posturographischen Parametern wies der Parameter Heel den größten Zusammenhang in der Korrelation mit dem subjektiven Empfinden und der manuellen Untersuchung auf. Auffällige Parameter in der MRT wiesen keinen Zusammenhang zum Schmerz- oder Instabilitätsempfinden der Probanden auf. Im Röntgen ergab sich mit 22% eine hohe Zahl an Teilnehmern mit Os Trigonum. Hier ließ sich ein signifikanter Zusammenhang ( $p=0,001$ , Chi-Quadrat=11,901) mit dem empfundenen Schmerz ermitteln. Eine genaue Anamnese und die klinische Untersuchung bleiben für die Diagnostik unabdingbar. Das IBS eignet sich, um den Heilungsverlauf zu objektivieren und zeigte, dass durch die Verletzung ein propriozeptiver Schaden entsteht, der nach 12 Wochen Behandlung noch nicht vollständig behoben ist. So kann durch die Ergebnisse des IBS eine Therapieänderung zur besseren Heilung eingeleitet und bestehende diagnostische Assessments ergänzt werden. Das Röntgen bleibt ein notwendiges Assessment zum Frakturausschluss. Die MRT hingegen brachte keinen Vorteil für die Therapie und bleibt der speziellen Diagnostik vorbehalten.

Felsberg, Maria: Vergleich klinisch-apparativer Assessments bei Sprunggelenksdistorsionen mit Bandverletzung, Halle (Saale), Univ., Med. Fak.; Diss., 80 Seiten, 2020

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1	Epidemiologie der Sprunggelenksdistorsionen.....	1
1.2	Anatomie des Sprunggelenks .....	1
1.2.1	Knöcherner Struktur und Bänder.....	1
1.2.2	Muskulatur und Innervation.....	3
1.2.3	Propriozeption.....	3
1.3	Verletzungsvorgang und Risikofaktoren der Sprunggelenksdistorsion .....	4
1.3.1	Ätiologie.....	4
1.3.2	Risikofaktoren .....	5
1.4	Diagnostikverfahren bei akuten Sprunggelenksdistorsionen .....	6
1.5	Posturographie .....	8
1.6	Therapie der Sprunggelenksdistorsion.....	9
2.	Zielstellung.....	10
3.	Material und Methodik.....	11
3.1	Probandenrekrutierung .....	11
3.2	Studienablauf.....	11
3.3	Geräte und Messinstrumente.....	13
3.3.1	Interaktives Balance System (IBS).....	13
3.3.2	BESS-Score.....	15
3.3.3	SpeedCourt.....	16
3.3.4	Fragebögen .....	17
3.4	Klinische Untersuchungen .....	18
3.5	Statistik .....	20
4.	Ergebnisse.....	21
4.1	Stichprobe.....	21
4.2	Auswertung der IBS Ergebnisse im Verlauf.....	22
4.3	Auswertung der Patientenbefragung .....	28
4.4	Auswertung der manuellen Untersuchung .....	38
4.5	Auswertung der Sporttests.....	47
4.6	Ergebnisse der apparativen Untersuchungen .....	50
5.	Diskussion .....	52
5.1	Ergebnisdiskussion .....	52
5.2	Limitation der Arbeit – Methodendiskussion.....	64
6.	Zusammenfassung .....	66
7.	Literaturverzeichnis .....	68
8.	Thesen.....	75
9.	Anlage .....	76

## Abkürzungsverzeichnis

Abb. - Abbildung  
ANOVA - analysis of variance  
AP - anterior posterior  
BESS - Balance Error Scoring System  
BK - Bodenkontakt  
BMI - Body Mass Index  
cm - Zentimeter  
daN - dekanewton  
DJ - Drop Jump  
DS - Druckschmerz  
F - Frequenzbereich  
FAOS - Foot and Ankle Outcome Score  
h - Stunde  
Heel - anterior-posteriore Gewichtsverteilung  
Hz - Hertz (Frequenzeinheit)  
IBS - Interaktives Balance System  
indiff. - indifferent  
kg - Kilogramm  
kg/m<sup>2</sup> - Kilogramm pro Quadratmeter  
lat. - lateral  
LCF - Lig. calcaneofibulare  
Left - Seitigkeit  
Lig. - Ligament  
LTFA - Lig. talofibulare anterius  
LTFP - Lig. talofibulare posterius  
m - Meter  
max. - maximal  
med. - medial  
ms - Millisekunden  
M. - Musculus  
MCS - Medial Clair Space  
MW - Mittelwert  
MZP - Messzeitpunkt  
n - Anzahl  
N. - Nervus  
OD - Osteochondrosis dissecans  
OSG - Oberes Sprunggelenk  
P - Perzentile  
p - P-Wert  
pos. - positiv  
r - Pearson-Korrelationskoeffizient  
s - Sekunde  
SD - Standardabweichung  
SF-12 - Short Form 12  
ST - Stabilitätsindikator  
Synch - Synchronisation  
Tab. - Tabelle

USG - Unteres Sprunggelenk  
vs. - versus  
WDI - Gewichtsverteilungsindex  
Ø - Durchschnitt  
% - Prozent  
 $\eta_p^2$  - partielles Eta-Quadrat

# 1. Einleitung

## 1.1 Epidemiologie der Sprunggelenksdistorsionen

Die Sprunggelenksbandruptur stellt eine der häufigsten Bandverletzungen besonders im Sport und bei körperlichen Aktivitäten dar (Hertel, 2002; Hootman et al., 2007; Golditz et al., 2014). So machen Distorsionen des Sprunggelenks ca. 25% aller Verletzungen in allen Sportarten aus und treten besonders häufig bei jungen Sportlern auf (Golditz et al., 2014). In Deutschland verletzen sich täglich ca. 8000 Menschen am Sprunggelenk (Rosenbaum und Becker, 1999; Hank, 2017). Davon betreffen ca. 80-85% der Verletzungen den lateralen Bandkomplex und sind meist einer Supination geschuldet (Garrick, 1977; Ferran und Maffulli, 2006; Fong et al., 2009). Trotz Behandlung haben 33% der Patienten ein Jahr nach der Verletzung noch Schmerzen und ca. 34% aller erleiden erneut eine Verstauchung des Sprunggelenks (van Ochten et al., 2014). Deshalb ist eine konsequente Diagnostik und Behandlung von großer Bedeutung, um Wiederholungsverletzungen und eine chronische Instabilität zu vermeiden.

## 1.2 Anatomie des Sprunggelenks

### 1.2.1 Knöcherne Struktur und Bänder

Das Sprunggelenk des Fußes wird in zwei Teile, das obere Sprunggelenk (OSG, *Articulatio talocruralis*) und das untere Sprunggelenk (USG, *Articulatio talotarsalis*) unterteilt. Das OSG stellt ein Scharniergelenk dar und ermöglicht die Plantarflexion und Dorsalextension. Das USG besteht aus 2 Gelenkanteilen, dem *Articulatio subtalaris dorsal* und dem *Articulatio talocalcaneonavicular ventral*. Sie ermöglichen eine Inversion und Eversion sowie gemeinsam mit dem Vorfuß, die Supination und Pronation. Der Fuß muss neben der Beweglichkeit zum Gehen und Laufen auch stabil sein, da hier das gesamte Körpergewicht einwirkt. Deshalb ist die Gelenkabsicherung durch Bänder von großer Bedeutung (Wurzinger, 2010).

Das obere Sprunggelenk ist von einer Gelenkkapsel umgeben. Der Bandapparat besteht aus einem medialen Anteil, einem lateralen Anteil und den Syndesmosenbändern. Die Bänder sind bei jeder Bewegung teilweise gespannt und ermöglichen so die Führung des OSG (Schünke et al., 2011).

Die Syndesmosenbänder verklammern die Malleolengabel und heißen: Ligamentum (Lig.) tibiofibulare anterius und Lig. tibiofibulare posterius. Die Kollateralbänder strahlen von den Malleolen zum nächstgelegenen Fußwurzelknochen aus. Medial bilden die Bänder ein faserige Platte, welche aus vier Anteilen (*Pars tibiotalaris anterior*, *Pars tibionavicularis*, *Pars tibio calcanea*, *Pars tibiotalaris posterior*) besteht und als Lig.

deltoideum bezeichnet wird (Abb. 1). Die Funktion ist die Verhinderung der Valgisierung und Hemmung der Eversion und Pronation im USG. Lateral finden sich 3 Außenbänder, das Lig. talofibulare anterius (LTFA), das Lig. talofibulare posterius (LTFP) und das Lig. calcaneofibulare (LCF) (Abb. 2). Sie verhindern die Varisierung und hemmen im USG die Inversion und Supination.

Das untere Sprunggelenk wird teilweise von Bändern des OSG (Pars tibio calcanea, Pars tibionavicularis, Lig. calcaneofibulare) stabilisiert. Auf das USG wirkt das Lig. talocalcaneum interosseum, welches die beiden Gelenkhöhlen trennt und Pronation sowie Supination hemmt und außerdem das Lig. talocalcaneum laterale, das ebenfalls die Supination blockiert.

Bei der Sprunggelenksdistorsion ist insbesondere das OSG von Bedeutung. Die häufigste Verletzung ist hier das Supinations-Inversions-Trauma, infolgedessen besonders die lateralen Kollateralbänder verletzt werden (Wurzinger, 2010).

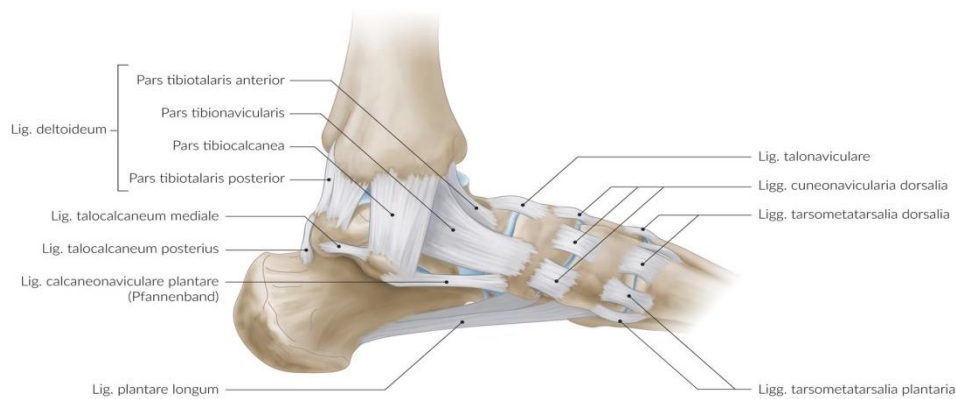


Abb. 1: Bandapparat des Fußgelenks, Ansicht von medial (mit freundlicher Genehmigung von: AMBOSS. Kapitel: Sprunggelenke und Fuß – Sprunggelenke; URL: <https://www.amboss.com/de/library#xid=8o0OdS&anker=Zd2ffedba7a98ef8d1abb529b02b8c0c>; abgerufen am 07.09.2018, 15:52 Uhr; Illustrator\*in: Karen Campbell)

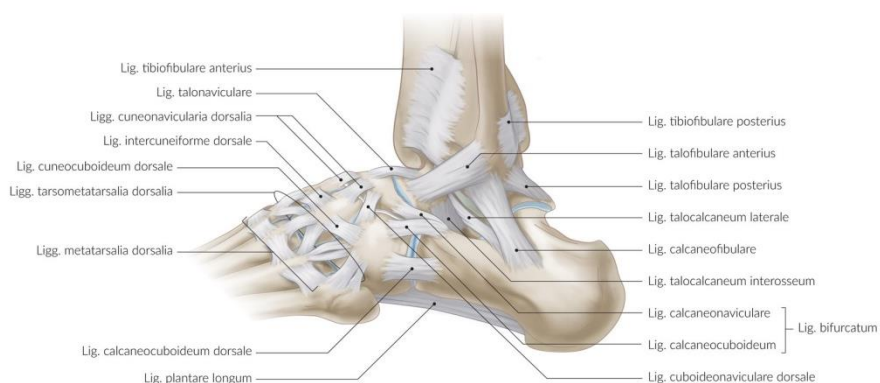


Abb. 2: Bandapparat des Fußgelenks, Ansicht von lateral (mit freundlicher Genehmigung von: AMBOSS. Kapitel: Sprunggelenke und Fuß – Sprunggelenke; URL: <https://www.amboss.com/de/library#xid=8o0OdS&anker=Zd2ffedba7a98ef8d1abb529b02b8c0c>; abgerufen am 07.09.2018, 15:52 Uhr; Illustrator\*in: Karen Campbell)



### **1.2.2 Muskulatur und Innervation**

Ebenso wichtig für die Stabilität ist die Muskulatur. Zusammen mit den Sehnen bildet sie eine musklotendinöse Einheit und führt durch Kontraktur zur Steifigkeit und so zu einem dynamischen Gelenkschutz. Hier hat besonders die Fibularis-Loge mit dem M. peroneus longus und dem M. peroneus brevis einen besonderen Stellenwert. Sie stellt einen Bestandteil der Supinationskontrolle des Rückfußes dar. So bietet die Muskulatur Schutz vor einer Distorsion durch Supination, die wie oben genannt die häufigste Verletzungsart darstellt. Auch die Extensoren M. tibialis anterior, M. digitorum longus, M. digitorum brevis und M. peroneus tertius stabilisieren das Sprunggelenk während einer erzwungenen Supination durch exzentrische Kontraktion und können laterale Bandverletzung durch Verlangsamung der Plantarflexionskomponente in der Supination verhindern. Für diese reflektorische Funktion ist die Innervation von Bedeutung. Die motorische und sensorische Versorgung des Knöchelkomplexes stammt vom lumbalen und sakralen Plexus (Hertel, 2002). Die Muskulatur wird hauptsächlich vom N. tibialis, N. fibularis superficialis und N. fibularis profundus, die alle dem N. ischiadicus entstammen, innerviert. Diese sind neben den sensiblen Nerven N. saphenus und N. suralis auch an der sensiblen Innervation beteiligt. In den Bändern, der Kapsel, der Muskulatur und den Sehnen des Sprunggelenks sowie in der Haut befinden sich Mechanorezeptoren. Insbesondere Muskelspindeln, Gelenksensoren (z. B. Ruffini-Körperchen) und das Golgi-Sehnenorgan tragen zur Propriozeption bei. Für diese sind die Muskelspindeln, insbesondere der Peronealmuskulatur, von großer Bedeutung (Hertel, 2002).

### **1.2.3 Propriozeption**

Um das Gleichgewicht zu kontrollieren und Bewegungen zu erzeugen, fügt das zentrale Nervensystem visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen zusammen. Die Propriozeption, auch Tiefensensibilität genannt, stellt eine Eigenempfindung dar, welche sensorische Signale verschiedener Mechanorezeptoren zusammenfasst und so die Körperbewegungen und die Körperposition im Raum und einzelner Körperteile zueinander bestimmt (Han et al., 2015).

Die Informationen der Tiefensensibilität werden bewusst wahrgenommen und über die Hinterstrangbahnen und den Thalamus zum sensorischen Kortex geleitet oder dienen der unbewussten Bewegungssteuerung, die über spinocerebelläre Bahnen zum Kleinhirn weitergeleitet werden (Alzheimer, 2013; Illert, 2013).

Hierbei spielt vor allem die Sprunggelenkspropriozeption eine übergeordnete Rolle, da der Fuß-Knöchel Komplex besonders im Sport das einzige Körperteil ist, das den Boden berührt. Sie liefert Informationen zur Anpassung der Sprunggelenksposition und

der Bewegung des Oberkörpers, um komplexe motorische Aufgaben, wie sie im Spitzensport benötigt werden, zu ermöglichen. Die Propriozeption kann durch allgemeines und sportspezifisches Training, Verletzungen wie eine Distorsion und durch sportinduzierte Ermüdung beeinflusst werden. Dies kann somit zu einer veränderten Balancefähigkeit führen (Han et al., 2015).

Durch eine Verletzung der lateralen Sprunggelenksbänder infolge einer Distorsion werden auch die Mechanorezeptoren und somit die Tiefensensibilität geschädigt. So verändert sich die Beweglichkeit am Gelenk und der Schaden beeinflusst zudem die posturale Kontrolle sowie die Funktion der das Gelenk umgebenden Muskulatur. Klinische Defizite wurden vor allem in der subjektiven Funktion und im dynamischen und statischen Gleichgewicht gefunden (Herb und Hertel, 2014).

Ein gestörtes Gleichgewicht kann einerseits durch eine Distorsion mit Bandverletzung entstehen, aber auch erneute oder auch erstmalige Distorsionen begünstigen (Han et al., 2015).

### **1.3 Verletzungsvorgang und Risikofaktoren der Sprunggelenksdistorsion**

#### **1.3.1 Ätiologie**

Von den Verstauchungsmechanismen ist die Supination (Inversion) mit Verletzung der lateralen Kollateralbänder die häufigste Ursache. Eine Verletzung kann auch durch eine Rotation bei festgestellten Fuß mit Läsion der medialen oder lateralen Bänder entstehen. Dabei kommt es oft zu einem fibrinösen Impingement und osteochondralen Läsionen (Bonnell et al., 2010). Man geht davon aus, dass 7% aller Distorsionen zu einer akuten osteochondralen Läsion des Talus führen, wobei diese oft unentdeckt bleibt (Verhagen et al., 2005). Außerdem ist bei 1-10% ein Schaden der tibiofibuläre Syndesmose möglich (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017). Des Weiteren können bei erzwungener Plantarflexion die vorderen Fasern der medialen und lateralen Kollateralbänder sowie die vordere Kapsel in Mitleidenschaft gezogen werden. Allerdings ist ein Kapselschaden bei jeder Form der Distorsion möglich (Bonnell et al., 2010).

Fong et al. (2009) zufolge wird vermutet, dass die meisten Distorsionen durch ein erhöhtes Supinationsmoment am Subtalargelenk verursacht werden. Dies ist häufig auf die Position und die Größe der vertikal projizierten Bodenreaktionskraft beim anfänglichen Fußkontakt zurückzuführen.

Hierbei supiniert der Rückfuß um einen nach außen rotierten Unterschenkel kurz nach dem Kontakt des Fußes mit dem Boden während des Gehens oder nach der Landung aus einem Sprung. Eine starke Inversion, eine Innenrotation des Rückfußes und eine Außenrotation des Unterschenkels führen zur Belastung der lateralen Bänder und

wenn diese die Festigkeit des Gewebes übersteigt zu einer Bandschädigung. Am häufigsten ist hier das LTFA betroffen, gefolgt vom LCF. Das LTFA hingegen wird nur bei schweren Distorsionen geschädigt und oft von Frakturen und Dislokationen begleitet (Hertel, 2002).

Es ist bekannt, dass bei Plantarflexion öfter das LTFA und bei Dorsalextension das LCF verletzt wird. Außerdem wurde berichtet, dass eine erhöhte Plantarflexion während der Landung zu vermehrten Distorsionen führt. Wenn der Fuß während einer Landung plantarflektiert ist, erfolgt der Bodenkontakt mit dem Vorfuß. Damit vergrößern sich der Hebelarm an der subtalaren Gelenkachse und das resultierende Drehmoment. Dies führt zu einer explosiven Drehbewegung und kann Distorsionen verursachen. Als weitere Ätiologie wird die verzögerte Reaktion der Peronealmuskulatur angenommen (Fong et al., 2009). Fong et al. (2009) vermuteten, dass eine Verletzung durch Distorsion innerhalb von 40 Millisekunden (ms) auftritt. Die Reaktionszeit der Peronealmuskulatur wird aber mit mindestens 50 ms angegeben. Bei Patienten mit vorhandener Instabilität soll diese noch deutlich länger sein.

Dazu kommt noch die elektromechanische Verzögerung von 72 ms, die für die Erzeugung von Kraft in der Muskulatur nach Einleitung der Aktivität benötigt wird. Daraus ergibt sich, dass die protektive Reaktion der Peronealmuskulatur bei einer plötzlichen Inversionbewegung mindestens 126 ms benötigt (Hertel, 2002).

Man geht davon aus, dass die menschliche Reflexantwort nicht schnell genug ist, um einer plötzlichen Distorsion entgegenzuwirken (Fong et al., 2009).

Es wird eine große Variation der Subtalar-Gelenk-Achse beschrieben. Individuen mit einer nach lateral abgelenkter Achse sind möglicherweise für wiederholte Distorsionen prädisponiert. Das Druckzentrum liegt dabei auf der medialen Seite der Gelenkachse und bei initialen Fußkontakt kann mit höherer Wahrscheinlichkeit ein Supinationsmoment entstehen. Wenn das Supinationsmoment die Größe des durch die Peronealmuskulatur erzeugten Pronationsmoments übersteigt, kann es zu einer starken Inversion des Fußes und Rotation des Rückfußes kommen und laterale Bandschäden entstehen (Hertel, 2002).

### **1.3.2 Risikofaktoren**

Es gibt relativ wenige Forschungsberichte für Prädispositionen von erstmaligen Distorsionen. Den Hauptrisikofaktor stellt eine vorausgegangene Distorsion des Fußes in der Anamnese, aber auch des kontralateralen Fußes dar (Milgrom et al., 1991; Fong et al., 2009; Engebretsen et al., 2010; Struijs und Kerkhoffs, 2010; Fulton et al., 2014; Kobayashi et al., 2016;). Beispiele für strukturelle Prädispositionen sind: ein großer tibialer Varus (Genu varum) und eine erhöhte Talusneigung (Beynon et al., 2001;

Hertel, 2002). Des Weiteren können ein Hyperlaxizitätssyndrom der Bänder und Fußfehlstellungen, wie ein Crus varum und ein Pes cavo-varus prädisponierend sein (Struijs und Kerkhoffs, 2010). Fong et al. (2009) definierten die allgemeine Gelenklaxizität, das Geschlecht und den Fußtyp nicht als weitere Risikofaktoren. Sie schlugen eine vergrößerte Fußweite und einen großen Calcaneus-Eversions Bewegungsumfang als mögliche anatomische Faktoren vor. Funktionelle Prädispositionen inkludieren eine schlechte posturale Kontrolle, eine beeinträchtigte Propriozeption und ein erhöhtes Eversion-zu-Inversion und Plantarflexion-zu-Dorsalextension Kräfteverhältnis (Hertel, 2002). Als weitere Faktoren für ein erhöhtes Risiko gelten Kobayashi et al. (2016) zufolge der Body-Mass-Index, langsame exzentrische Inversionsstärke, schnelle konzentrische Plantarflexionsstärke, passiver Inversionsgelenkpositions-Sinn und die Reaktionszeit des M. peroneus brevis.

Ein 2,5- bzw. 3,9-fach erhöhtes Risiko zeigten auch Menschen mit einer unterlegenen Ein-Bein-Balance und Übergewicht (Fong et al., 2009).

Im Sport wurde außerdem festgestellt, dass das Nicht- Dehnen vor dem Training (2,6-fach erhöhtes Risiko), eine reduzierte Dorsalextension, Fußballspiel auf Kunstrasen, eine dorsal gelegene Fibula und auch extrinsische Faktoren, wie Schuhe, ein Risiko darstellen (Fong et al., 2009). Hierbei handelt es sich besonders um Schuhe mit Luftzellen in den Fersen, bei denen ein 4,3-fach höheres Risiko für ein Umknicken bestand (McKay et al., 2001). Power et al. (2017) fanden heraus, dass die Sportler mit einer Hüftabduktorschwäche ein erhöhtes Verletzungsrisiko für eine Non-Contact Sprunggelenksdistorsion zeigten.

Zusätzlich ist, wie bereits oben genannt, eine schlechte Knöchel-Propriozeption und eine niedrige Balancekontrolle bzw. ein vermindertes Gleichgewicht mit einer vermehrten Knöchelverletzung assoziiert (Han et al., 2015).

#### **1.4 Diagnostikverfahren bei akuten Sprunggelenksdistorsionen**

##### **Anamnese**

Die Diagnostik orientiert sich überwiegend an der aktuellen Leitlinie (2017).

Standardmäßig beginnt der Patientenkontakt mit einer ausführlichen Anamnese. Sie beinhaltet neben einer allgemeinen Anamnese, die Symptome wie: Schmerz, Bewegungseinschränkung, Instabilität, Schwellung sowie den Verletzungsmechanismus, vorherige Verletzungen, Instabilität und die Exposition des Gelenks im Sport oder Beruf (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017).

## **Klinische Untersuchung**

Neben den obligaten klinischen Untersuchungen, wie Durchblutung, Sensibilität, Motorik usw., sind am Sprunggelenk besondere Tests von Bedeutung. Der erste Teil besteht immer aus einer Inspektion. Wie ist das Gangbild? Sind Schwellungen oder Hämatome am OSG oder dem Fußrand vorhanden? Anschließend erfolgt die Palpation, die sich durch Schwellung und generalisierte Schmerzen oft als schwierig erweist. Dabei werden der Außen- und Innenknöchel, der Verlauf der medialen und lateralen Bänder, die Gelenkkapsel, die Syndesmose, das Retinakulum, die Peronealsehnenloge, die knöchernen Subtalar- und Calcaneocuboid-Gelenke und die Tuberositas des Os Metatarsale V (Hellpapp'sche Supinationslinie) getastet und auf Schmerzhaftigkeit untersucht (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017). Die Kraffteinwirkung verläuft während einer Distorsion entlang einer funktionellen Linie (Vorfußaußenkante bis zur Knöchelregion). Infolgedessen kann es hier zu Verletzungen, wie Frakturen und Bandrupturen kommen (Polzer, 2018). Zur Stabilitätsprüfung werden verschiedene spezifische Tests, wie der vordere und anterolaterale Schubladentest jeweils im Seitenvergleich genutzt. Bei beiden Tests zeigte sich in Versuchen an Kadavern eine hohe Spezifität und Sensitivität auch bei unerfahrenen Untersuchern (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017).

## **Apparative Untersuchungen**

Als notwendige apparative Diagnostik gilt die Röntgenaufnahme des OSG a.p. in 20° Innenrotation und eine seitliche Aufnahme. Sie dient vor allem dem Frakturausschluss und der Beurteilung von frischen und alten Kapsel-Band-Ausrissen, Avulsionen des Peronealsehnenretinakulums, osteochondralen Frakturen und Arthrosezeichen. Als Alternative zu der hohen Zahl an Röntgenaufnahmen gelten die „Ottawa Ankle Rules“, welche durch eine klinische Untersuchung an Hand definierter Kriterien eine Fraktur ausschließen sollen. Diese werden aber in Deutschland nicht routinemäßig genutzt. Weitere eventuell nützliche apparative Untersuchungen sind die Sonographie, die MRT bzw. CT, gehaltene Röntgenaufnahmen und die Arthroskopie. Der Ultraschall am OSG dient insbesondere zur Prüfung und dynamischen Darstellung der Bandstabilität. Hierbei kann ohne Strahlenexposition zwar eine gute Diagnosesicherheit erbracht werden, allerdings ist dies stark vom Untersucher und dessen Erfahrung abhängig. Außerdem können nicht alle Bandstrukturen sicher dargestellt werden. So ist das Lig. fibulotalare posterius nicht und das Lig. fibulocalcaneare nur im Ansatz sichtbar. Gehaltene Aufnahmen im Röntgen in a.p. und seitlicher Position werden nicht routinemäßig durchgeführt, da eine direkte therapeutische Konsequenz fehlt. Sie

weisen eine niedrige Sensitivität auf und müssen bei akuter Verletzung unter Leitungsanästhesie durchgeführt werden. Jedoch wird die gehaltene Aufnahme bei Verdacht auf chronische Instabilität und Bandlaxizität zur Diagnostik genutzt. Bei dieser speziellen Röntgenaufnahme wird die Ferse fest eingespannt und gegen den Unterschenkel ein Druck von 15 daN ausgeübt. Dabei werden der Talusvorschub und die Taluskipfung beurteilt und mit der Gegenseite verglichen. MRT und CT werden eher selten genutzt, um Begleitverletzungen (Peronealsehnenläsionen, osteochondrale Frakturen, Syndesmosenverletzungen) und Rückfußdeformitäten zu diagnostizieren. Meist kommt die MRT bei residualen Beschwerden zum Einsatz (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017).

Sie erkennt mit einer Sensitivität von 75-100% eine Bandruptur des OSG. Da sich jedoch kein klinischer Verlauf vorhersagen lässt, bietet die MRT keinen Vorteil in der Akutsituation. Weitere Nachteile stellen die hohen Kosten, lange Untersuchungszeiten, die geringe Verfügbarkeit und der fehlende Nachweis chronische Instabilitäten und Sekundärarthrosen signifikant zu minimieren, dar (Polzer et al., 2009).

Arthroskopien werden in Ausnahmefälle gebraucht, um osteochondrale Schäden darzustellen. Alle zusätzlichen Diagnostikverfahren sollten nur bei ausgeprägter Klinik, Beschwerdepersistenz und unklarem Verletzungsmechanismus genutzt werden (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017).

### **1.5 Posturographie**

Die Posturographie ist eine elektrophysiologische Methode zur Messung der Gleichgewichts- und Haltungsregulation.

Sie umfasst die Messung der Körperausrichtung im Ruhezustand, als Reaktion auf visuelle, posturale oder umweltbedingte Störungen oder bei der Durchführung dynamischer Aufgaben. Die posturale Kontrolle beruht auf einem Zusammenspiel von Informationen aus verschiedenen afferenten Systemen, wie z. B. dem vestibulären, dem somatosensorischen und dem visuellen System. Die Posturographie testet diese verschiedenen Systeme zum Beispiel durch das Schließen der Augen, das Einbringen von visuellen Informationen oder das Ändern des Winkels der Auflagefläche. So kann der Beitrag der einzelnen Systeme zur Regulierung des Gleichgewichts beurteilt werden (McGinley und Rinehart, 2013).

Man unterscheidet die statische und die dynamische Posturographie. In der statischen Messung werden spontane Schwankungen im ruhigen Stand erfasst und durch quantitative Kriterien Hinweise auf einen Schädigungsort im stabilisierenden System gegeben. Die dynamische Posturographie misst hingegen die Stabilisierung des

Stehens nach passiver Auslenkung, z. B. durch Kippung oder Beschleunigung der Standfläche (Diener und Dichgans, 1988; Stolze et al., 2006).

In der hier vorgestellten Studie wurde das Interaktive Balance System (IBS) genutzt, welches der elektrophysiologischen Posturographie zuzuordnen ist.

Das IBS stellt dabei eine innovative Methode in der Posturographie dar. Es ermöglicht neben Erfassung aller Parameter der anderen Posturographiesysteme auch eine Reihe spezifischer Messungen. Besonders hervorzuheben ist der Parameter "Synchronisation" bei dem die Interaktionen zwischen den Fußarealen (Vorfuß, Ferse) mittels skalarer Multiplikation berechnet werden. Das System ist im Abschnitt Material und Methoden ausführlicher beschrieben.

### **1.6 Therapie der Sprunggelenksdistorsion**

Die Akuttherapie umfasst die Schienung, Kühlung und das Hochlagern des Sprunggelenks. Bei Immobilität ist eine Verordnung von Unterarmgehstützen möglich, wobei auf eine Thromboseprophylaxe zu achten ist. Des Weiteren können bei Schmerzen Analgetika und bei starker Schwellung eine Lymphdrainage empfohlen werden. Die frühfunktionelle nicht operative Therapie gilt als Standard. Dabei kann die Schienung mittels supinationshemmender Orthese, aber auch bis zur Abschwellung im gespaltenen Unterschenkelgips erfolgen. Die operative Therapie wird in Einzelfällen (offene Verletzung, Kompartmentsyndrom, Hautnekrosen, Frakturen, Luxatio pedis cum talo) genutzt, da sie eine höhere Kapselbandstabilität bietet. Jedoch zeigt sich eine nicht signifikant höhere Tendenz zur Steifigkeit, längerer Arbeitsunfähigkeit sowie posttraumatischer Arthrose. Im Verlauf kann das OSG isometrisch mit der Orthese beübt werden. Nach Abnahme der Orthese sollte eine Krankengymnastik zur Koordinationsschulung, Muskelkräftigung und Eigenreflexschulung (sensomotorisches Training) erfolgen. Außerdem ist eine zusätzliche Therapie mittels Ultraschall, Kurzwelle oder Laser möglich, jedoch gibt es für die Wirksamkeit keine ausreichende Evidenz (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017).

## **2. Zielstellung**

Um eine vollständige Heilung und eine Reduktion der Re-Rupturrate zu erreichen, ist eine genaue Diagnostik und fortlaufende ärztliche wie physiotherapeutische Behandlung unabdingbar. Ziel der Studie ist es, herauszufinden, welchen Einfluss unterschiedliche physiotherapeutische Maßnahmen auf den Heilungsverlauf haben und welche Diagnostik zur Beurteilung der Verletzung am besten geeignet ist. Diese Dissertation beschäftigt sich insbesondere mit der Diagnostik. Der therapeutische Teil der Untersuchung wird in einer zusätzlichen Arbeit behandelt.

Durch Nutzung verschiedener diagnostischer Mittel (klinische Untersuchung, IBS, SpeedCourt, BESS-Score, Fragebögen, apparative Untersuchungen) sollen deren Eignung dargestellt und untereinander im Heilungsverlauf verglichen werden. So zeigt diese Studie verschiedene Ebenen der Diagnostik und stellt Zusammenhänge zwischen subjektivem Empfinden (Schmerz- und Instabilitätsgefühl) der Probanden, sportlicher Belastbarkeit, Ergebnisse klinischer und apparativer Untersuchungen und der posturographischen Messung her.

Im Mittelpunkt steht die wiederholte Untersuchung mit dem IBS. Die hier vorgestellte Untersuchung zielt darauf ab, den Nutzen des IBS für die Diagnostik, für die Beobachtung des Heilungsverlaufes sowie für eine abschließende Bewertung der Heilung und der sportlichen Belastbarkeit herauszufinden und vergleichend zu anderen etablierten Assessments darzustellen. Außerdem soll der Einfluss der Verletzung auf die posturale Kontrolle und die Propriozeption im Rehabilitationsverlauf gezeigt werden.

Zusätzlich wird durch die Auswertung des Abschlusstests geplant, einen Ausblick auf die sportliche Belastbarkeit nach Verletzung geben zu können und bei Diagnose von bestehenden Defiziten eine Weiterbehandlung und Kontrolle zu ermöglichen.



### 3. Material und Methodik

#### 3.1 Probandenrekrutierung

Die Rekrutierung für die Längsschnittstudie wurde am 27.05.2016 gestartet und endete am 26.02.2018. Es wurden Patienten, die sich akut oder kurz nach externer ärztlicher Behandlung in der Sportklinik Halle mit einer Sprunggelenksdistorsion mit Bandverletzung vorstellten, in die Studie aufgenommen. Alle Probanden erhielten ein Informationsblatt (Anlage 1). Insgesamt begannen 79 Probanden die Studie.

#### 3.2 Studienablauf

Der Aufbau erfolgte nach einem standardisierten Ablaufplan, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen (Abb. 3).

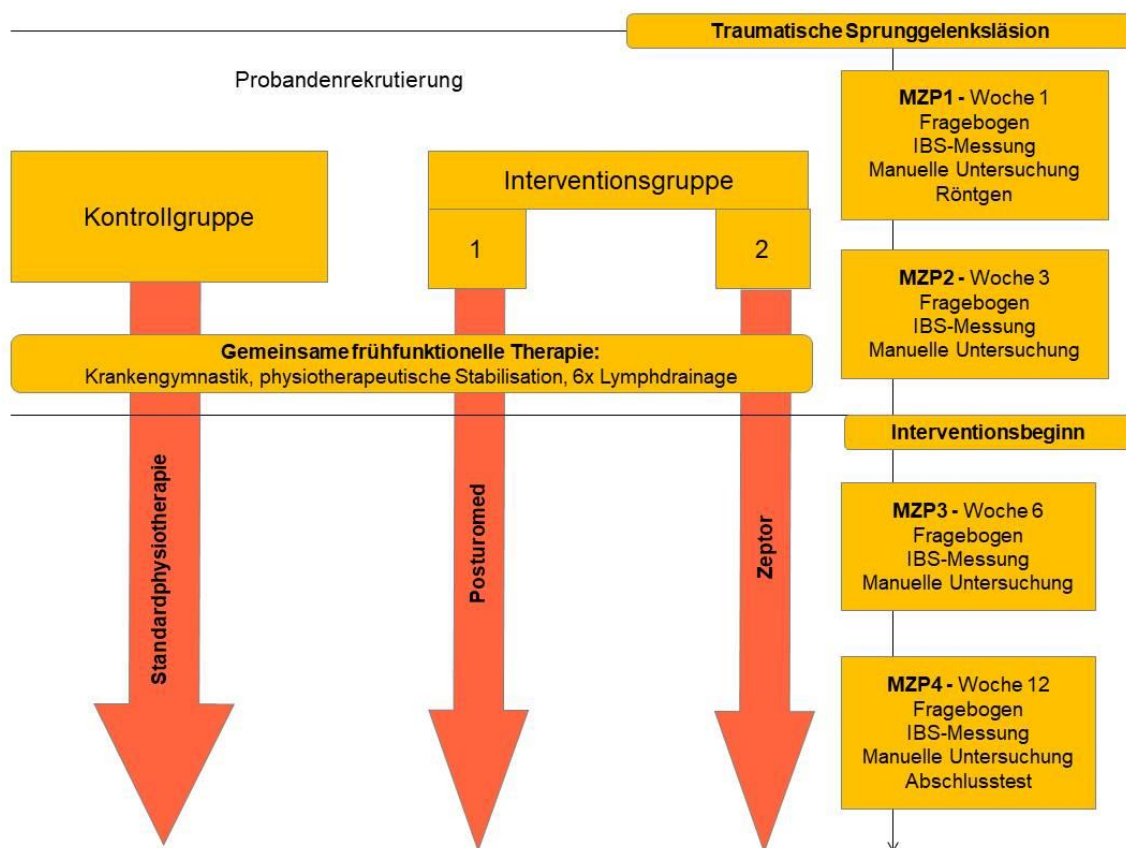


Abb. 3: Studiendesign

Die Studie begann bei allen Patienten mit Messzeitpunkt 1 (MZP 1) und fand in der akuten Phase der Verletzung statt. Bestandteil des MZP 1 war eine ärztliche manuelle Untersuchung, eine routinemäßige Röntgenuntersuchung (wenn noch nicht erfolgt), ein Fragebogen zur Vorgeschichte, allgemeinen Daten und aktuellen Beschwerden der Teilnehmer (Anlage 2) und die posturographische Untersuchung (IBS-Messung). Die Patienten wurden vorerst mit einer Bandage und je nach Bedarf mit Schmerzmitteln, Unterarmgehstützen oder einer Lymphdrainage versorgt. Die Bandage wurde bis zur 4.

Woche nach Verletzung Tag und Nacht, ab Woche 5 nur noch nachts und ab Woche 6 nicht mehr getragen. Die Wiedervorstellung erfolgte zum 2. Messzeitpunkt nach 3 Wochen und zu Messzeitpunkt 3 nach 6 Wochen. Hier wurden immer eine Befragung zum Heilungszustand, eine manuelle Untersuchung sowie die IBS-Messung durchgeführt. Ab Woche 3 begannen die Patienten mit der Krankengymnastik und wurden dem jeweiligen Therapiezeitpunkt der Studie zugeteilt. Die Kontrollgruppe bekam die standardmäßig angebotene Krankengymnastik, die z. B. Kräftigungs- und Balanceübungen enthält. Die anderen beiden Gruppen erhielten zusätzlich die Behandlung mit dem SRT-Zepter oder dem Posturomed. Dieser Teil der Studie wird in einer separaten Doktorarbeit ausführlich behandelt. Nach 12 Wochen wurde die Behandlung bei Erfolg mit dem MZP 4 abgeschlossen. Hier fanden erneut eine ärztliche Untersuchung und eine Absprache über eine eventuell nötige Weiterbehandlung statt. Zusätzlich zur standardmäßigen Befragung und der IBS-Messung wurde ein aus mehreren Teilen bestehender Abschlusstest durchgeführt. Dieser beinhaltete 2 weitere Fragebögen zur Erfassung des subjektiven Befindens und des Gesundheitszustandes der Patienten, den SF12 und den FAOS. Zur Überprüfung der Haltungs- und Gleichgewichtsregulation (uni- und bilateral) wurde der BESS-Score erhoben und außerdem Drop Jumps und ein 15 s Tapping auf dem SpeedCourt durchgeführt. Zum Abschluss erhielten die Probanden eine Übersicht über den Genesungszustand und eine Aussicht zum Wiedereinstieg in den Sport. Dies erfolgte anhand des posturographisch gemessenen und graphisch dargestellten Summenscores des IBS sowie in Zusammenschau mit allen Test- und Fragebogenergebnissen.

### 3.3 Geräte und Messinstrumente

#### 3.3.1 Interaktives Balance System (IBS)

Die hier vorgestellte Studie soll herausfinden, ob sich das IBS auch für die Diagnostik der Sprunggelenksdistorsion eignet und eine Objektivierung des Heilungsverlaufes ermöglicht. Das IBS wurde in Israel entwickelt und hat sich bereits in unterschiedlichen Bereichen, wie z. B. für die Diagnostik von cerebellären Störungen, für Diabetes- und Parkinsonfrüherkennung, zur Differenzialdiagnostik von Schwindelpathologien sowie für die Diagnostik von Knie- und Fußverletzungen bewährt.

Es ist für Patienten ab 4 Jahren geeignet und wurde ursprünglich für die Untersuchung des Zusammenhangs des posturalen Verhaltens und der Lernfähigkeit autistischer Kinder entwickelt. Das IBS der Firma Neurodata GmbH Wien ist ein Posturometer, welches aus zwei Platten, die jeweils noch einmal unterteilt sind, besteht (Abb. 4). Diese messen unabhängig voneinander vertikale Druckschwankungen des darauf stehenden Patienten.



Abb. 4: IBS Versuchsaufbau

Die Probanden stehen ohne Schuhe, ruhig mit jeder Ferse und Vorfuß auf der jeweiligen Platte und müssen im Messungsverlauf 8 verschiedene Positionen einnehmen. In Position 1 (NO) stehen die Probanden mit offenen Augen nach vorne blickend und ruhig auf dem Systemaufbau (Abb. 5). Position 2 (NC) ist ebenso aufgebaut, allerdings müssen die Patienten nun die Augen schließen. Position 3 (PO) und 4 (PC) werden ebenfalls einmal mit offenen und geschlossenen Augen durchgeführt. Hier stehen die Teilnehmer jedoch auf einem 6,5 cm dicken Schaumstoffpolster (Abb. 6). In den folgenden 4 Positionen stehen die Probanden wieder ausschließlich auf den 4 Messplatten und verändern bei geschlossenen Augen jeweils nur die Kopfhaltung. In Position 5 (HR) rotiert der Kopf um ca. 45° nach rechts und in Position 6 (HL) um 45° nach links (Abb. 7). Anschließend wird für Position 7 (HB) der Kopf in den Nacken (Abb. 8) und für Position 8 (HF) das Kinn auf die Brust

gelegt. Die Messung nimmt für jede Position 32 Sekunden in Anspruch. Die Intensität der Körperschwankungen wird mittels Fourier-Analyse in 8 Frequenzbereiche unterteilt. Daraus wurden 4 Bereiche klassifiziert, denen bestimmte posturale Subsysteme zugeordnet werden können. So weist Frequenzbereich 1 (0,03-0,1 Hz) auf eine Dominanz des visuellen und nigrostriatalen Systems hin. Frequenzbereich 2-4 (0,1-0,5 Hz) zeigt eine Aktivität des peripher-vestibulären Systems, Frequenzbereich 5-6 (0,5-1,0 Hz) eine somatosensorische Reaktion und Frequenzbereich 7-8 (>1 Hz) eine Aktivität im cerebellären System (Schwesig et al., 2013).

Außerdem werden Parameter, wie der Stabilitätsindikator (ST), die anterior-posteriore Gewichtsverteilung (Heel), die Seitigkeit (Left), der Gewichtsverteilungsindex (WDI) und die Synchronisation (Synch) erhoben. Der Stabilitätsindex gibt an, wie die Stabilität des Probanden ist und nimmt höhere Werte an, je instabiler ein Stand ist. Anhand von Left-Heel kann die Vorfuß-Rückfuß-Belastung und Seitigkeit ermittelt werden. Die allgemeine Gewichtsverteilung wird wiederum durch den Wert WDI wiedergegeben, je höher dieser, desto schlechter ist die Verteilung. Mit dem Wert Synchronisation lassen sich die Werte aus den einzelnen mit A, B, C und D bezeichneten Platten miteinander korrelieren und vergleichen. So kann man aus zwei Plattensignalen parallel oder diagonal ermitteln, welche Fußteile gleichzeitig belastet werden. Das System vergleicht mit den in den letzten 20 Jahren weltweit erhobenen Referenzdaten.

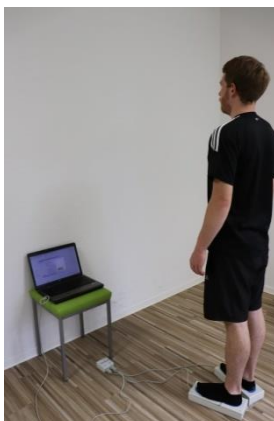


Abb. 5: NO

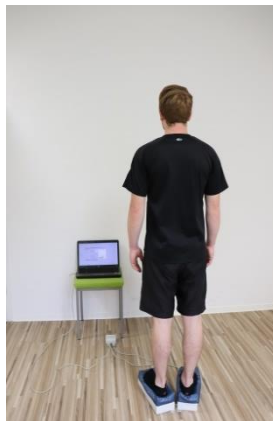


Abb. 6: PO

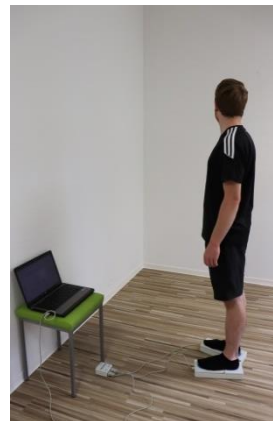


Abb. 7: HR

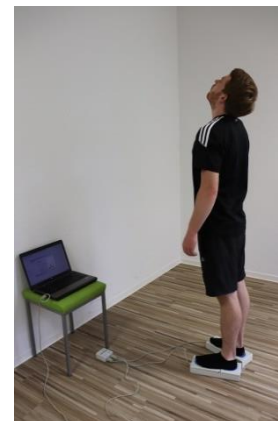


Abb. 8: HB

### 3.3.2 BESS-Score

Das Gleichgewichtsfehlerbewertungssystem ist schnell durchzuführen und ein gutes, kostengünstiges Maß für Gleichgewicht und die posturale Stabilität (Iverson und Koehle, 2013). Ursprünglich wurde der Test bei leichten Kopfverletzungen angewandt. Jedoch zeigte unter anderem die Studie von Docherty et al. (2006), dass der BESS-Score auch als Screening Element für Verletzungen des Sprunggelenks geeignet ist. Die Probanden müssen drei Haltungen, die Doppelfußstellung (Abb. 9), den Einbeinstand (Abb. 10) und den Tandemstand (Abb. 11) einnehmen und auf 2 verschiedenen Untergründen stehen. Diese sind einmal ein harter normaler Untergrund und ein Schaumstoff Balance-Pad der Firma Airex®. Jede Haltung wird mit geschlossenen Augen und Händen in der Hüfte für jeweils 20 Sekunden eingenommen. Während der Durchführung wurden an die Probanden Fehlerpunkte vergeben. Diese erhielten sie für: Augen öffnen, wenn die Hände von den Hüften genommen werden, ein Schritt gemacht werden muss, der Proband stolpert oder fällt, die Testfläche verlassen werden muss, die Hüfte über 30° abduziert oder flektiert und die Testposition länger als 5 Sekunden verlassen wurde. Die maximale Fehleranzahl beträgt 10 Punkte pro Einheit, je höher der schlussendliche Gesamtwert, desto schlechter ist die Leistung des Patienten. Die Gesamtpunktzahl kann anschließend berechnet werden und mithilfe von nach Geschlecht, Alter und BMI normierten Referenzwerten ausgewertet werden. Diese wurden z. B. durch Iverson und Koehle (2013) beschrieben.



Abb. 9: beidbeiniger Stand auf hartem Untergrund



Abb. 10: Einbeinstand auf dem Airex® Kissen



Abb. 11: Tandemstand auf dem Airex® Kissen

### 3.3.3 SpeedCourt

Der SpeedCourt ist ein Trainingsgerät, mit dem kognitive und motorische Schnelligkeit von Athleten, aber auch von Patienten, z. B. in der Rehabilitation getestet und trainiert werden kann. Dieser besteht aus einem Trainingsfeld in das 12 Sensorfelder eingelassen sind.



Abb. 12: SpeedCourt Testfläche mit den in orange markierten Sensorfeldern

Der SpeedCourt wurde zur genauen Messung von Bodenkontaktzeiten und Sprunghöhen genutzt. Als ersten Test mussten die Probanden einen Drop Jump aus 30 cm Höhe zunächst beidbeinig und anschließend mit dem rechten und dem linken Bein durchführen. Der Drop Jump ist eine Sprungform, die oft zur Diagnostik in der Sportwissenschaft eingesetzt wird. Dabei springt der Patient aus einer definierten Höhe auf ein Sensorfeld des SpeedCourts und versucht von dort aus, so hoch und schnell wie möglich, erneut abzuspringen. Anschließend werden Sprunghöhe und Bodenkontaktzeit ermittelt. Des Weiteren wurde ein 15 s Tapping auf dem SpeedCourt durchgeführt und so genaue Werte für die Anzahl der Bodenkontakte, aber auch Bodenkontaktzeit und Tapping Frequenz bestimmt. Der Proband muss hier so schnell wie möglich auf der Stelle auf einem Sensorfeld laufen.



Abb. 13: Drop Jump beidbeinig aus 30 cm Höhe während des Absprungs



Abb. 14: Drop Jump beidbeinig aus 30 cm während des erneuten Absprungs

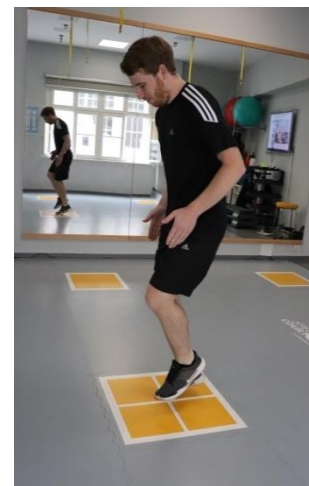


Abb. 15: 15 s Tapping

Für ein gutes Ergebnis des Tappings spricht eine hohe Anzahl der Kontakte und eine geringe Bodenkontaktzeit.

Allgemein gilt für die Auswertung der Drop Jumps ebenso, je höher der Sprung und je kürzer die Bodenkontaktzeit, desto besser. Hier müssen immer beide Werte gemeinsam betrachtet werden, da eine kurze Bodenkontaktzeit nur in Verbindung mit einer großen Sprunghöhe und damit höher erzeugter Kraft sinnvoll ist (Frick et al., 1991). So wird die Berechnung eines Leistungs- bzw. Reaktivitätsindex empfohlen mit der Formel: Sprunghöhe / Kontaktzeit (Keiner et al., 2013; Güllich und Schmidtbleicher, 1999). Dieser ist jedoch auch von der Absprunghöhe abhängig. Die Bodenkontaktzeit sollte laut Literatur nicht über 200 ms liegen (Güllich und Schmidtbleicher, 1999).

### **3.3.4 Fragebögen**

In der Studie wurde ein selbst erstellter Fragebogen (Anlage 2), sowie der allgemeine Gesundheitsfragebogen SF-12 und der Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) genutzt. Der FAOS und der SF-12 waren Bestandteile des Abschlusstests in der 12. Woche nach Verletzung. Der erste Teil des selbst erstellten Fragebogens wurde zur Aufnahme in die Studie und der folgende Teil zu jedem Messzeitpunkt ausgefüllt (Anlage 2). Dabei wurde zu jedem MZP das Schmerz- und Instabilitätsgefühl abgefragt.

Der SF-12 ging aus dem SF-36 hervor und stellt dessen verkürzte Version dar. Er wurde in vielen Studien validiert. Man kann mit ihm den Gesundheitszustand innerhalb der letzten 4 Wochen in verschiedenen Dimensionen, wie allgemeine Gesundheitswahrnehmung, physische Gesundheit, körperliche Schmerzen, Vitalität, mentale Gesundheit, physische und emotionale Rollenfunktion und soziale Funktionsfähigkeit ermitteln. In der Auswertung per Manual lässt sich eine körperliche und psychische Summenskala errechnen und damit Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Probanden nach Abschluss der Behandlung gezogen werden. Hierbei erhält jede Antwort einen Zahlenwert ab 1, jedoch müssen 4 Fragen umgepolt werden, damit auch hier die höchste Zahl das beste Ergebnis und die niedrigste das Schlechteste widerspiegelt. Anschließend werden für die körperliche Summenskala die Fragen 1, 2+3, 4+5 und 8 und für die psychische Summenskala die Fragen 6+7, 10, 9+11 und 12 zusammengefasst und die Skalen durch die Formel:

Skala= ((berechneter Rohwert - niedrigster vgl. Rohwert) / mögliche Spannweite) x 100 berechnet.

Der FAOS ist ebenfalls ein valides und reliables Instrument und für die Durchführung von klinischen Studien im Sprunggelenksbereich empfohlen (van Bergen et al., 2014). Dieser Fragebogen ermittelt in mehreren Teilgebieten den Zustand des verletzten



Fußes. Die Teilgebiete sind: Symptome, Schmerzen, Aktivitäten des alltäglichen Lebens, Aktivitäten bei Sport und Freizeit und Lebensqualität.

Die Auswertung des FAOS erfolgt mittels eines frei verfügbaren Benutzerhandbuches (Siehe: <http://www.koos.nu/index.html>, abgerufen am: 25.09.2018). Dazu wird allen Antworten ein Punktwert zugeteilt. Die Antwort mit der „schlechtesten“ Bewertung erhält den höchsten und die mit der „besten“ den niedrigsten Wert. Anschließend werden die Punktwerte für jedes Teilgebiet zusammengerechnet und auf die übliche Skala mit maximal 100 Punkten (keine Probleme) und 0 Punkte (extreme Probleme) transformiert. Dazu wurden folgenden Formeln verwendet:

Schmerz=  $100 - ((\text{Score aus P1-P9} \times 100) / 36)$ ;

Symptome=  $100 - ((\text{Score aus S1-S7} \times 100) / 28)$ ;

Aktivität des täglichen Lebens=  $100 - ((\text{Score A1-A17} \times 100) / 68)$ ;

Aktivität in Sport und Freizeit=  $100 - ((\text{Score SP1-SP5} \times 100) / 20)$ ;

Lebensqualität=  $100 - ((\text{Score Q1-Q4} \times 100) / 16)$ .

### **3.4 Klinische Untersuchungen**

In der ersten Patientenuntersuchung fand immer eine Röntgenaufnahme in a.p. und lateral statt, falls diese bis zu diesem Zeitpunkt nicht erfolgt waren.

Dies ist als notwendige apparative Untersuchung Teil der Leitlinie und dient dem Frakturausschluss sowie der Diagnostik von knöchernen Bandausrissen und Arthrosezeichen (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017).

Eine gehaltene Röntgenaufnahme fand nur im Verlauf oder am Ende der Behandlung in Woche 12 statt, wenn weiterhin Probleme bestanden oder die manuelle Untersuchung Anlass dafür gab. Die Aufnahmen wurden abschließend mithilfe der Sportklinik Halle, vertreten durch Dr. Brehme, ausgewertet. Der Focus der Auswertung lag auf dem Erkennen von Zeichen einer Osteochondrosis dissecans, talare und tibiale Osteophyten und freien Gelenkkörpern sowie der Vermessung des medialen Gelenkspalts (MCS) und des tibiofibularen Spalts (Espace clair). Die radiologische Beurteilung von MRT Bildern der Probanden wurden gesammelt und nach gemeinsamen Merkmalen, wie Erguss, Knochenmarködem, Weichteilödem, Syndesmosedefekt und Knorpelschaden ausgewertet. Die manuelle Untersuchung erfolgte anfangs unter Aufsicht und Anleitung. Später wurde diese durch die Doktoranden zu jedem Messzeitpunkt an den Probanden selbstständig durchgeführt. Der Schwerpunkt lag auf der Testung der lateralen Aufklappbarkeit und des AP Vorschubs, des Bewegungsausmaßes in der Dorsalextension (Streckung Richtung Fußrücken) und Plantarflexion (Beugung Richtung Fußsohle) (max.: Extension/Flexion 20°/0°/40°), der Druckschmerzhaftigkeit medial, lateral, im Bereich der Syndesmose



und proximal tibiofibular sowie die Sicherheit des Einbeinstandes. Außerdem wurde auf eine Kapselschwellung geachtet und der Frick-Test sowie der Peronealanspanntest durchgeführt. So konnten der Verlauf und die Verbesserung der Symptomatik beobachtet und anschließend mit anderen diagnostischen Mitteln korreliert werden.

Für den vorderen Schubladentest wird Calcaneus und Talus mit einer Hand fixiert und mit der anderen die supramalleoläre Tibia umfasst und ein anteriorer, posteriorer Zug ausgeübt. Die laterale Aufklappbarkeit wird durch Ausübung eines Inversionsstressses getestet, indem der Calcaneus von plantar umfasst und eine Inversionsbewegung durchgeführt wird. Eine laterale Aufklappbarkeit spricht für einen Schaden der lateralen Kollateralbänder. Ebenso kann durch Eversionsstress eine mediale Aufklappbarkeit und so ein Schaden des Lig. deltoideum getestet werden (Wurm et al., 2016). Für Testung der Peronealsehne wird der Patient zu einer aktiven Eversion und Dorsalextension gegen Widerstand angeleitet. Hierbei kann eine Schmerzsymptomatik, aber auch eine Kraftminderung wegweisend für die Feststellung einer Verletzung der Peronealsehne sein (Klos et al., 2017). Der Fricktest dient zur Diagnostik einer Syndesmosenruptur. Dabei wird der Fuß gegenüber dem fixierten Unterschenkel außenrotiert. Der Test ist positiv, wenn ein Schmerz in der Syndesmosenregion auftritt (Rammelt, 2017).

### 3.5 Statistik

Die statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse erfolgte mithilfe des Statistikprogramms SPSS Version 25.0. Deskriptiv wurden Mittelwert, Standardabweichung und 95% Konfidenzintervall berechnet. Außerdem wurde der Chi-Quadrat-Test zur Ermittlung eines signifikanten Effekts z. B. zwischen Parametern der manuellen Untersuchung und dem angegebenen Schmerz und der Instabilität genutzt. Dieser Test wird eingesetzt, um zu überprüfen, ob dichotome oder ordinal skalierte Variablen abhängig voneinander sind. Da zwei oder mehr Gruppen miteinander verglichen werden mussten, wurde die univariate Varianzanalyse (einfaktorielle ANOVA) angewandt. So konnten zum Beispiel die unterschiedlichen unabhängigen Gruppen des Parameters Schmerz (kein Schmerz, Schmerz bei Belastung, Schmerz in Ruhe) und des Parameters Instabilität (keine Instabilität, Instabilität ohne Umknicken, Instabilität mit Umknicken) mit einzelnen Parametern des IBS, als abhängige Variablen, gemessen werden. Somit konnte überprüft werden, ob sich die Gruppen statistisch voneinander unterscheiden. Um eine Alphafehlerakkumulation zu vermeiden, wurde das Signifikanzniveau mittels Bonferroni-Korrektur adjustiert [(0,05 / 36): 0,001]. Um die praktische Relevanz abzuschätzen, wurde für die ANOVA als Maß der Effektgröße das partielle Eta-Quadrat genutzt. Zur Bewertung der Effektgrößen wurden  $\eta_p^2 \geq 0,01$ ,  $\eta_p^2 \geq 0,06$ ,  $\eta_p^2 \geq 0,14$  als kleiner, mittlerer oder großer Effekte klassifiziert (Cohen, 1988). Des Weiteren wurde mittels Produkt-Moment-Korrelation (Pearson, r) berechnet, um statistisch den linearen Zusammenhang zwischen zwei metrischen Variablen zu ermitteln.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Stichprobe

Die hier vorgestellte Untersuchung wurde in der Sportklinik Halle durchgeführt und dort vorstellige Patienten aufgenommen. Insgesamt begannen 79 Probanden die Studie mit einer akuten Verletzung am Sprunggelenk. Davon kamen 45 direkt nach Verletzung in die Sportklinik und 34 erst nach externer Vorstellung in Krankenhäusern oder bei anderen Fachärzten. Im Durchschnitt nahmen mehr Männer als Frauen an der Studie teil (Tab.1). In der Studie gab es eine hohe Variation des Alters von 14-58 Jahren.

Tab. 1: Patientenstichprobe bezüglich des Geschlechtes und körperlichen Merkmalen

Variablen	Gesamt (n=79)		Frauen (n=29)		Männer (n=50)	
	MW±SD	Range	MW±SD	Range	MW±SD	Range
<b>Alter [Jahre]</b>	28,1±10,6	14-58	30,0±13,0	14-55	26,9±8,72	15-58
<b>Gewicht [kg]</b>	79,8±15,1	54,7-138	73,5±14,0	54,7-106	83,5±14,4	63,2-138
<b>Größe [m]</b>	1,79±0,10	1,60-2,05	1,70±0,06	1,60-1,80	1,84±0,08	1,69-2,05
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	25,0±4,2	19,0-40,4	25,4±4,8	19,0-39,6	24,7±3,8	19,7-40,4

Legende: MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Range=Spannweite

Tab. 2: Drop-Out Ursachen und Populationszuwachs im Längsschnitt

Variablen	MZP 1 (n=77)	MZP 2 (n=76)	MZP 3 (n=73)	MZP 4 (n=67)	Sporttest (n=60)
<b>Drop-Out Ursachen</b>					
<b>Zeitaufwand</b>	0	0	2	2	6
<b>Krankheit</b>	0	1	0	1	3
<b>Schwangerschaft</b>	0	1	0	0	1
<b>Sonstige (ohne Grund, Umzug...)</b>	0	1	1	3	9
<b>Populationszuwachs</b>					
<b>Verletzung lag 3 Wochen zurück</b>	0	+ 2	0	0	0

Legende: MZP=Messzeitpunkt

So begannen 77 Patienten mit dem MZP 1. Zwei Probanden begannen bei MZP 2, da ihre Verletzung bereits 3 Wochen zurücklag. Zum MZP 2 nahmen noch 76, zu MZP 3 73 und zu MZP 4 67 Patienten teil. Davon legten 60 den Sporttest ab. Die Drop-out Rate hat verschiedene Gründe (Tab. 2). So nahmen viele Patienten nach Heilungsverlauf aufgrund des Zeitaufwandes nicht mehr teil, andere wegen Krankheit und Schwangerschaft. Des Weiteren war der Sporttest durch andere gesundheitliche Beschwerden teilweise nicht komplett durchführbar. Unter den Probanden befanden sich zum Großteil Berufssportler und aktive Athleten, aber auch einzelne Personen mit moderater sportlicher Betätigung von 1-2-mal pro Woche.

Es zeigten sich eine ungefähr gleichmäßige Verteilung der Verletzungsseite (rechts=53%, links=47% (n=79)) und ein deutlich erhöhter Anteil mit Supination als Verletzungsmechanismus (Tab. 3). So macht die Supination mit 81% (n=64) aller Mechanismen in Vergleich zur Pronation mit 5%, Extension mit 5% und Sonstige mit 9% den größten Teil aus. Andere Verletzungsmechanismen sind als nicht erinnerliche Mechanismen und weitere Vorgänge, wie z. B. Einwirkungen durch Gegenspieler im Sport definiert.

Tab. 3: Verteilung der Probanden in der Seitigkeit und im Verletzungsmechanismus

Variablen		Gesamt (n=79)	Frauen (n=29)	Männer (n=50)
<b>Betroffene Seite [Anzahl]</b>	rechts	42	17	25
	links	37	12	25
<b>Verletzungs- mechanismus [Anzahl]</b>	Supination	64	25	39
	Pronation	4	1	3
	Extension	4	1	3
	Andere	7	2	5

Für ein zusätzliches Dissertationsthema wurden die Probanden in 3 Therapiegruppen eingeteilt. Hier nahmen 48 in der Kontrollgruppe, 16 in der SRT-Zeptor- und 15 in der Posturomedgruppe teil. Im Anschluss verletzten sich 4 Patienten erneut, davon 1 Teilnehmer bereits vor MZP 4. Außerdem gaben noch 4 Probanden nach 12 Wochen Probleme an und bei 7 musste eine gehaltene Röntgenaufnahme bei vermeintlicher Instabilität durchgeführt werden.

#### 4.2 Auswertung der IBS Ergebnisse im Verlauf

Mithilfe des IBS wurde der Heilungsverlauf der Probanden über alle 4 MZP verfolgt. Den folgenden Abbildungen liegt der Median als durchgängige Linie und das 25. und 75. Perzentil als gestrichelte Linie zugrunde, welche die Referenzwerte einer vergleichbaren Population widerspiegeln. Diese Daten wurden von Schwesig (2006) erhoben und berechnet. Sie orientieren sich am durchschnittlichen Alter der Studienpopulation (28,1 Jahre) und dem Geschlecht, welches hier Männern mit 63% dominieren (Schwesig, 2006). In den Frequenzbereichen (Abb. 16-19) sind keine signifikanten Mittelwertdifferenzen zwischen den Messzeitpunkten zu finden. Dabei ist die größte Mittelwertdifferenz im Frequenzbereich 7-8 mit  $p=0,180$  und  $\eta_p^2=0,027$  zu finden. Im Verlauf sind im F1 (Abb. 16) keine Verbesserungen zu erkennen. Auch im F2-4 (Abb. 17) und F5-6 (Abb. 18) ist keine Annäherung an den Median zu sehen. Zum MZP 4 ist teilweise eine geringere Leistungsfähigkeit als zum MZP 1 zu beobachten. Lediglich im F7-8 (Abb. 19) gab es eine stetige Verbesserung zu den jeweiligen

Messzeiten und eine Annäherung an den Median. Während sich die Ergebnisse bei F1 und F2-4 jedoch an und teilweise über dem oberen Perzentil bewegten, lagen die Ergebnisse von F5-6 und F7-8 zum Großteil zwischen dem oberen Perzentil und dem Median.

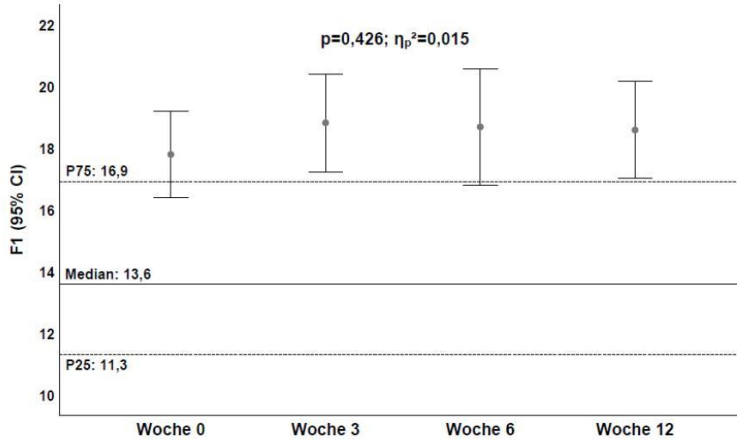


Abb. 16: Frequenzbereich 1 (F1) im Längsschnitt, Median=alters- und geschlechtsadjustierter Referenzwert, P=Perzentile,  $\eta_p^2$ =partielles Eta-Quadrat

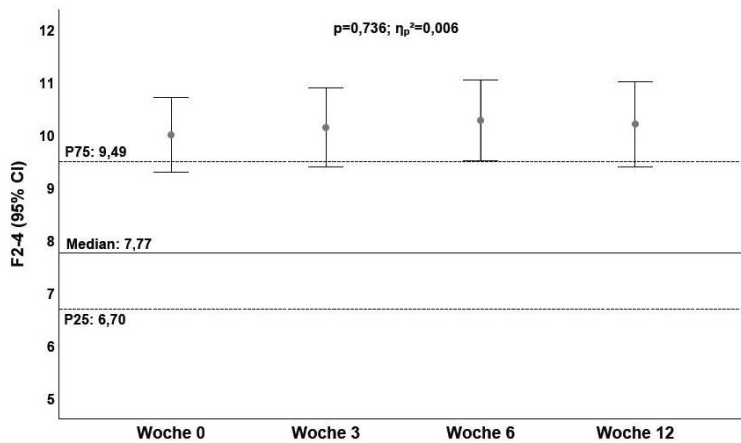


Abb. 17: Frequenzbereich 2-4 (Parameter: F2-4) im Längsschnitt

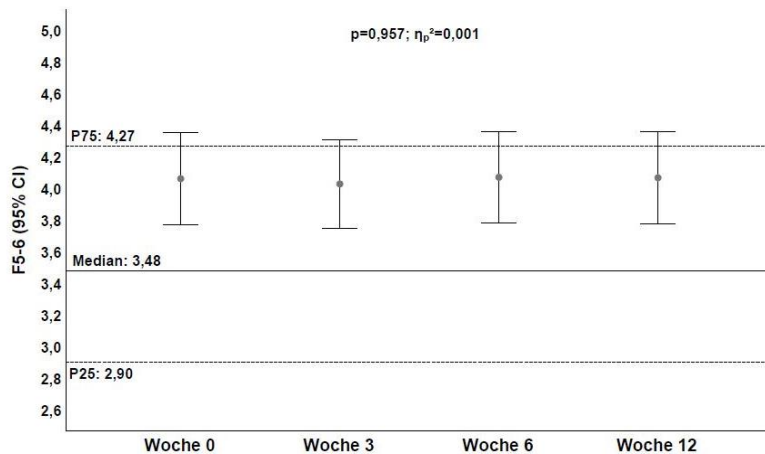


Abb. 18: Frequenzbereich 5-6 (Parameter: F5-6) im Längsschnitt

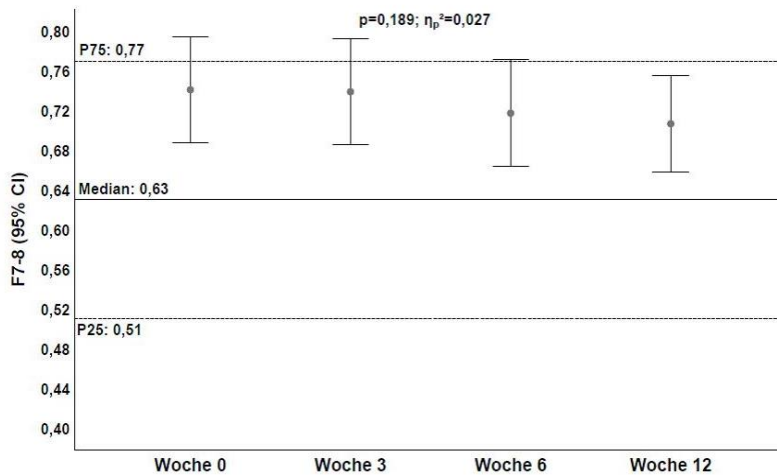


Abb. 19: Frequenzbereich 7-8 (Parameter: F7-8) im Längsschnitt

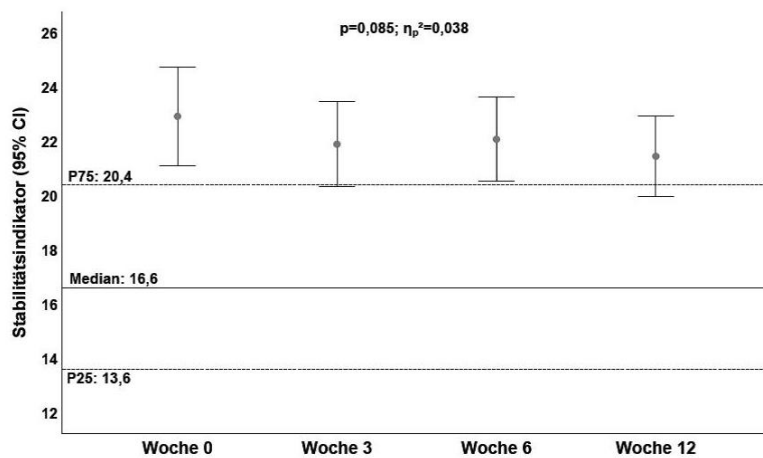


Abb. 20: Stabilitätsindikator (Parameter: ST) im Längsschnitt

In Abbildung 20 ist der Stabilitätsindikator abgebildet. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede und die Probanden konnten im Beobachtungszeitraum nicht das Niveau der Referenzgruppe erreichen. Im Mittel lagen sie zu allen Messzeitpunkten über dem 75. Perzentil. Es ist jedoch bis auf Woche 6 (MZP 3) eine Verbesserung in Richtung der Referenzwerte zu erkennen.

In den folgenden Abbildungen 21-26 werden in allen Parametern Referenzwerte erreicht und es ist eine stetige Besserung sichtbar. Im Parameter Gewichtsverteilungsindex (Abb. 21) ist ab Woche 3 (MZP 2) der Mittelwert im Konfidenzintervall inbegriffen. Es zeigt sich ein nicht signifikanter Haupteffekt von  $p=0,016$ . Der höchste Teileffekt findet sich zwischen Woche 0 und Woche 3 mit  $\eta_p^2=0,069$ , ohne das Niveau klinischer Relevanz zu erreichen ( $\eta_p^2>0,14$ ). Das heißt, von MZP 1 zu MZP 2 war die größte Verbesserung der Probanden im Parameter WDI zu finden. Die Synchronisation (Abb. 22) erreicht im Mittel bereits zu MZP 2 (Woche 3) den Median. Es zeigten sich signifikante Effekte ( $p<0,001$  und  $\eta_p^2=0,176$ ). Der größte Teileffekt ist zwischen Woche 0 und 3 mit  $\eta_p^2=0,232$  zu finden.

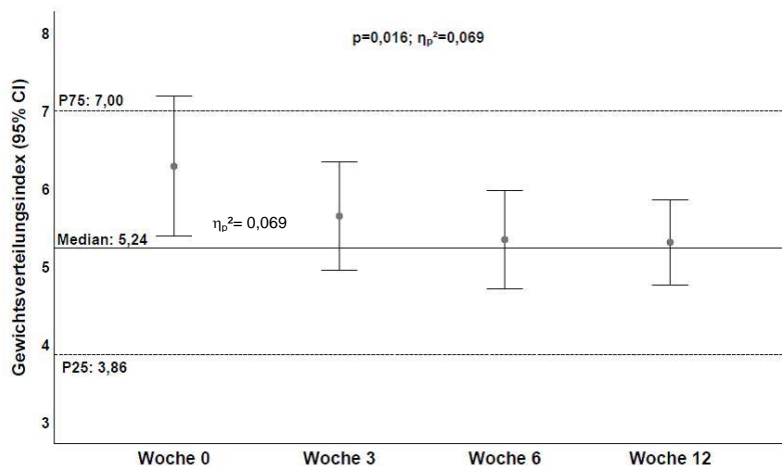


Abb. 21: Gewichtsverteilungsindex (Parameter: WDI) im Längsschnitt

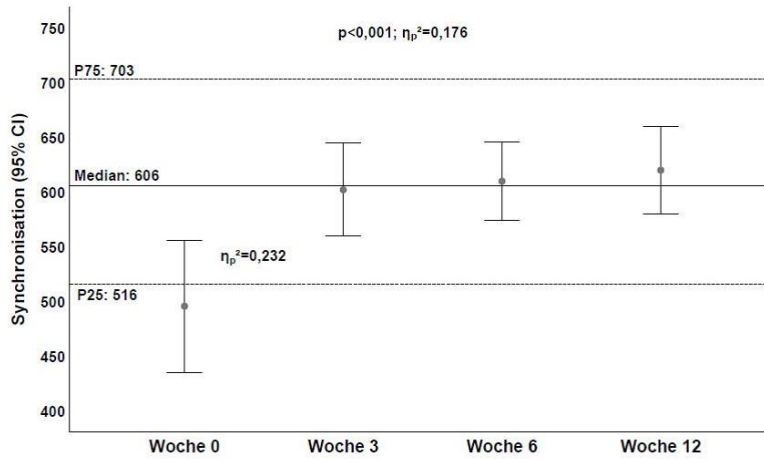


Abb. 22: Fußkoordination (Parameter: Synchronisation) im Längsschnitt

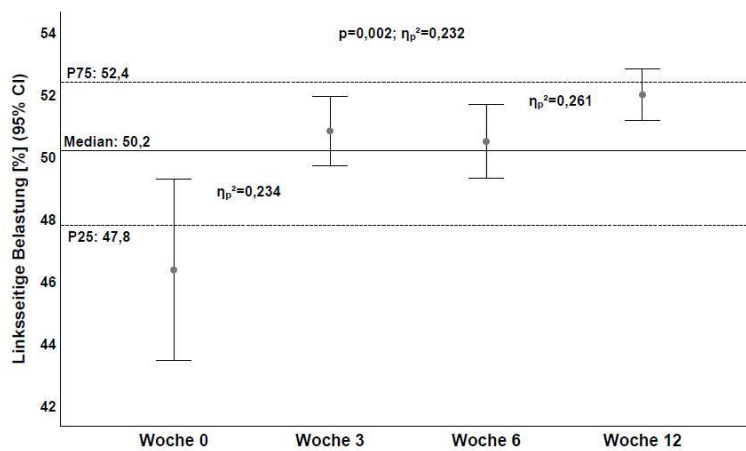


Abb. 23: Linksseitige Gewichtsverteilung (Parameter: Left) im Längsschnitt am Beispiel der linksseitig verletzten Patienten.

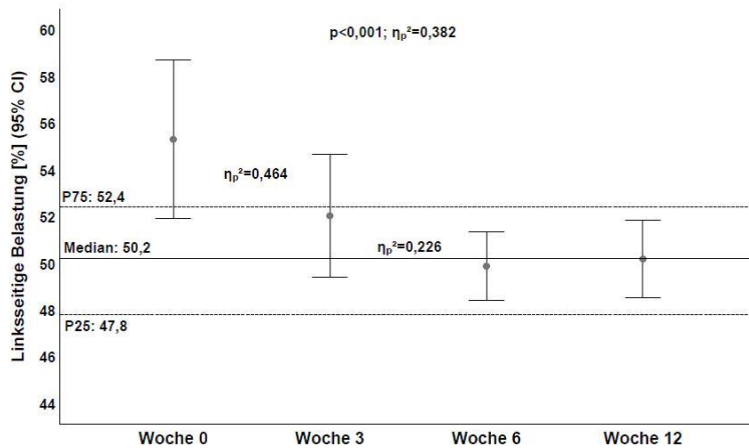


Abb. 24: Linksseitige Gewichtsverteilung (Parameter: Left) im Längsschnitt am Beispiel der rechtsseitig verletzten Patienten.

In Abbildung 23 und 24 wird die mediolaterale Gewichtsverteilung, aufgeteilt nach der Verletzungsseite, beschrieben. Es ist in beiden Grafiken die Belastung des linken Fußes zu sehen. So ist in Abb. 23 ersichtlich, dass wie erwartet zum MZP 1 der rechte Fuß deutlich mehr belastet wurde. Doch bereits ab Woche 3 wird der Median von 50,2 erreicht und alle Probanden lagen bis Woche 6 im Mittel auf dem Median und zwischen dem 25. und 75. Perzentil. Nach Ablauf der 12 Wochen wurde der verletzte linke Fuß sogar stärker belastet und näherte sich im Mittel dem 75. Perzentil an. Es zeigte sich ein relevanter Haupteffekt mit  $\eta_p^2=0,232$ . Weitere relevante Teileffekte sind zwischen MZP 1 und 2 mit  $\eta_p^2=0,234$  und zwischen MZP 3 und 4 mit  $\eta_p^2=0,261$  gefunden worden. Die rechtsseitig Verletzten zeigen ebenfalls (Abb. 24), wie erwartet, zu MZP 1 eine deutliche Mehrbelastung des linken Fußes. Anschließend kam es zu Woche 3 ( $\eta_p^2=0,464$ ) und zu Woche 6 ( $\eta_p^2=0,226$ ) zu einer relevanten Verbesserung. Der Median wurde zu Woche 6 erreicht und auch in Woche 12 gehalten. Dabei befanden sich alle Probanden zwischen dem 75. und 25. Perzentil. Es kam bei den rechtsseitig Verletzten jedoch nicht zu einer Mehrbelastung des verletzten Fußes.

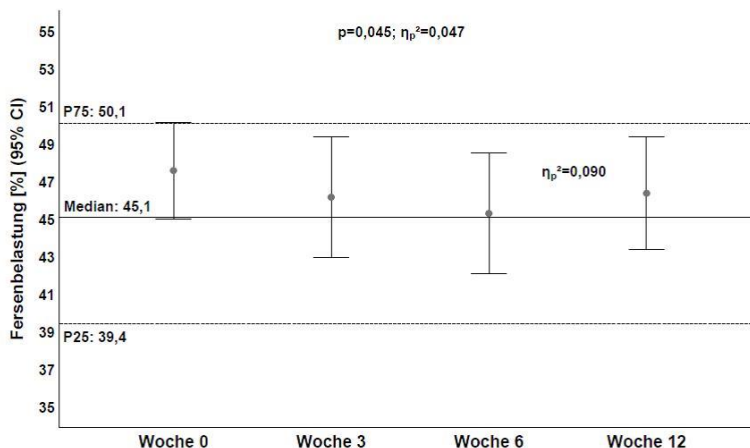


Abb. 25: Fersenbelastung (Parameter: Heel) im Längsschnitt am Beispiel der linksseitig verletzten Patienten.



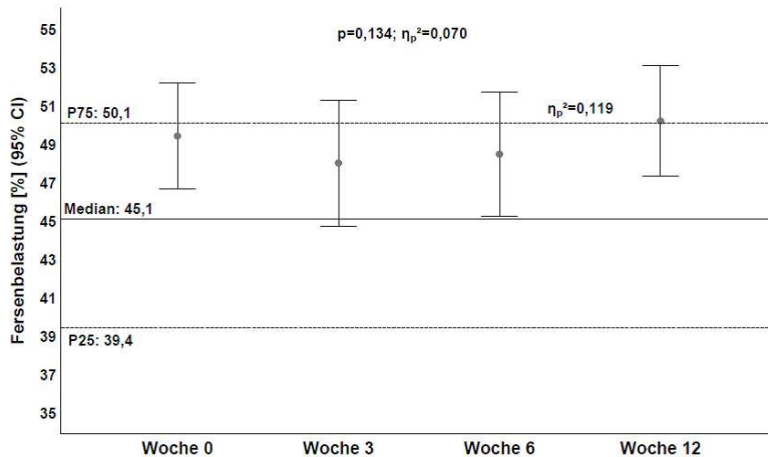


Abb. 26: Fersenbelastung (Parameter: Heel) im Längsschnitt am Beispiel der rechtsseitig verletzten Patienten.

In den Abbildungen 25 und 26 ist die Fersenbelastung aufgeteilt nach der Verletzungsseite zu sehen. Ab Beginn der Messungen lagen die linksseitig verletzten Probanden (Abb. 25) zwischen dem 75. Perzentil und dem Median. Bis zu MZP 3 gab es eine stetige Verbesserung der Ergebnisse Richtung Median. Dieser konnte zu MZP 3 im Mittel erreicht werden. Zum MZP 4 zeigte sich wieder, vergleichbar mit MZP 1, eine erhöhte Fersenbelastung. Es ergab sich ein schwacher Haupteffekt von  $p=0,045$  und  $\eta_p^2=0,047$ . Der größte Teileffekt findet sich zwischen Woche 6 und 12 mit  $\eta_p^2=0,090$ . Die rechtsseitig Verletzten (Abb. 26) zeigten insgesamt eine höhere Tendenz zur Fersenbelastung. Der Median konnte im Mittel zu keinem Zeitpunkt erreicht werden. Zwar zeigte sich zu Woche 3 eine Verbesserung, jedoch kehrte sich dies zu Woche 6 erneut um. Zu Woche 12 lagen die Probanden im Mittel auf dem 75. Perzentil. Es zeigte sich ein schwacher Haupteffekt von  $p=0,134$  und  $\eta_p^2=0,070$ . Der größte Teileffekt findet sich zwischen Woche 6 und 12 mit  $\eta_p^2=0,119$ . Als auffälligstes Ergebnis zeigten sich die erwartete Mehrbelastung des gesunden Fußes zum akuten Verletzungszeitpunkt (MZP 1) und die Normalisierung dieser zu MZP 4 hin. Dies wird auch in der Häufigkeitsverteilung (Tab. 4) sichtbar.

Tab. 4: Häufigkeitsverteilung der Probanden innerhalb der posturographischen Parametern Heel und Left zu MZP 1 und MZP 4.

	Heel [%]		Left [%]	
	unter P25	über P75	unter P25	über P75
<b>rechtsseitig verletzt</b>				
MZP 1 (n=39)	10	49	10	67
MZP 4 (n=29)	7	48	28	24
<b>linksseitig verletzt</b>				
MZP 1 (n=38)	16	37	37	13
MZP 4 (n=34)	21	32	6	38

Legende: MZP=Messzeitpunkt, P=Perzentile

### 4.3 Auswertung der Patientenbefragung

#### Auswertung des subjektiven Empfindens und der Fragebögen

Das subjektive Empfinden der Patienten wurde einmal durch den eigenständig erstellten Fragebogen (Anlage 2) und den beiden Fragebögen SF12 und FAOS ermittelt. Mit den Ergebnissen sollte der Heilungsverlauf verfolgt werden. Zu Beginn hatten 48 Probanden Schmerzen in Ruhe, 26 bei Belastung und lediglich 2 keine Schmerzen. Eine fast umgekehrte Verteilung zeigte sich zum MZP 4. So gaben 45 Probanden keine Schmerzen, 20 Schmerzen bei Belastung und 2 Schmerzen in Ruhe an. Die Regredienz der Schmerzen ist auch im Verlauf erkennbar (farblich in Abb. 27 gekennzeichnet). Es muss aber festgestellt werden, dass nach 12 Wochen intensiver Behandlung weiterhin Schmerzen bei den Probanden vorhanden waren und zu MZP 4 bei 33% nicht von einer Heilung und Herstellung des Grundzustandes ausgegangen werden kann.

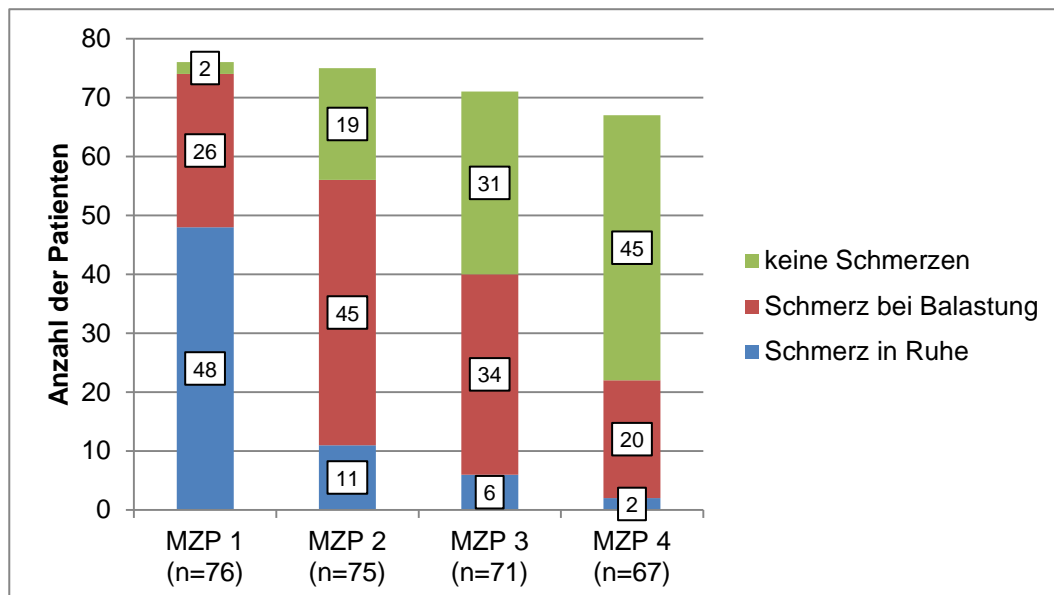


Abb. 27: Verteilung Patienten bzgl. der Schmerzangabe

Einen ähnlichen Verlauf kann man auch bei der Instabilitätsangabe erkennen (Abb. 28). Hier ist eine stetige Abnahme des Instabilitätsempfindens zusehen. Allerdings ist der Ausgangswert der Probandenanzahl mit der Angabe „keine Instabilität“ höher als der des Schmerzes. So gaben 22 Probanden zu MZP 1 keine Instabilität, 18 eine Instabilität ohne Umknicken und 36 eine Instabilität mit Umknicken an. Zu MZP 4 hatten 55 Patienten keine Instabilität, 10 eine Instabilität ohne Umknicken und 2 eine Instabilität mit Umknicken. Dennoch bleibt bei 18% ein Instabilitätsgefühl und bei 3% davon eine Instabilität des OSG mit Umknicken.

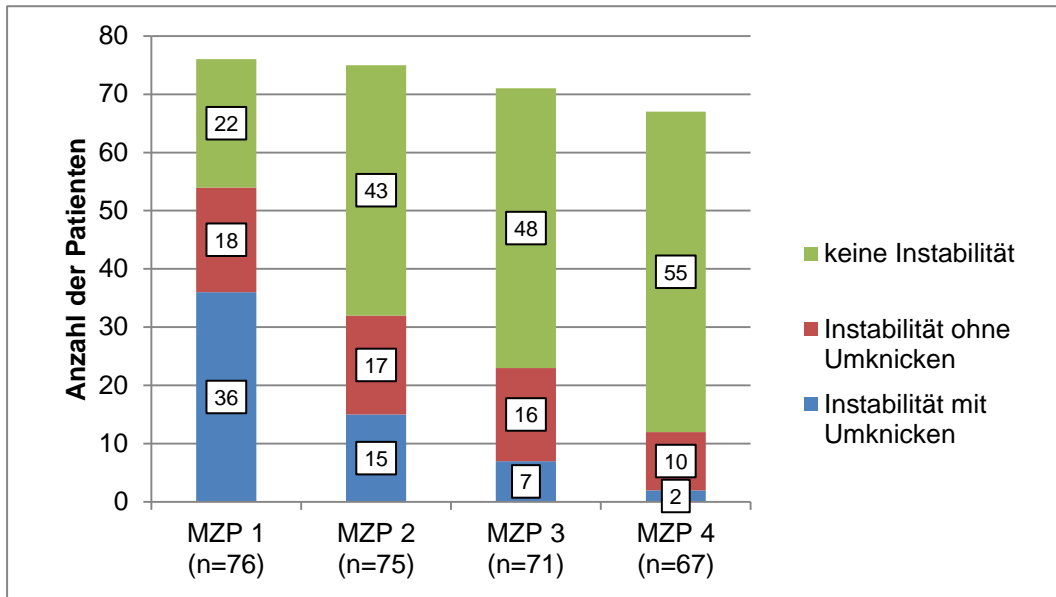


Abb. 28: Verteilung der Patienten bzgl. der Instabilitätsangabe

Die etablierten Fragebögen SF-12 und FAOS wurden nur zu MZP 4 im Rahmen des Abschlusstestes beantwortet, um einen Überblick über die abschließende Heilung zu erhalten.

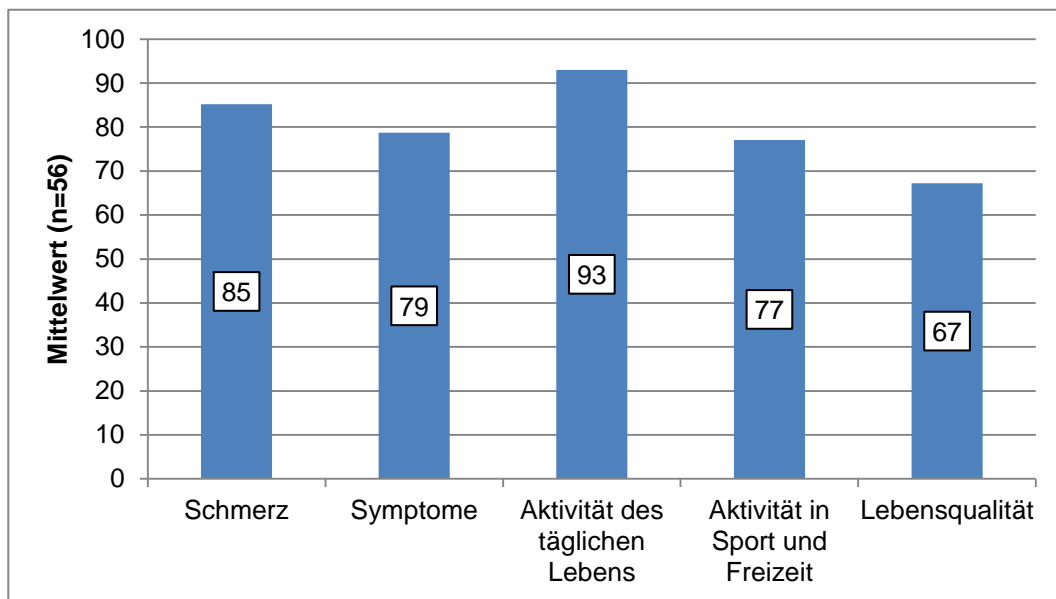


Abb. 29: Auswertung des FAOS in den verschiedenen Ebenen (n=56)

In Abbildung 29 ist zu erkennen, dass im Mittel in keiner Ebene 100 Punkte erreicht werden konnten. Besonders gut können nach 12 Wochen Behandlung die Aktivitäten des alltäglichen Lebens mit 93 Punkten trotz Verletzung gemeistert werden. Den niedrigsten Punktwert erhielt die Lebensqualität der Probanden. Diese Ebene beinhaltet vor allem die Fragen, ob man sich der Sprunggelenksprobleme bewusst war, schadhafte Tätigkeiten vermieden hat, einen Mangel an Vertrauen und Zuversicht hinsichtlich des Fußes hat und wie man die Schwierigkeiten mit dem Sprunggelenk

insgesamt bewertet. Konträr konnten von 56 Patienten im Bereich Schmerzen 14, im Bereich Symptome 5, im Bereich Aktivität im täglichen Leben 23, im Bereich Aktivität in Sport und Freizeit 14 und im Bereich Lebensqualität 7 die maximale Punktzahl von 100 erreichen. Insgesamt haben lediglich 2 Probanden in allen Ebenen 100 Punkte erzielen können. Das unterstreicht nochmals die Seltenheit der vollkommenen Genesung nach 12 Wochen. Die Spannweite beträgt im Bereich Schmerzen 36 bis 100 Punkte, im Bereich Symptome 25 bis 100 Punkte, im Bereich Aktivität im täglichen Leben 50 bis 100 Punkte, im Bereich Aktivität in Sport und Freizeit 5 bis 100 Punkte und im Bereich Lebensqualität 19 bis 100 Punkte. Bei Betrachtung dieses Gültigkeitsbereiches sind große Abweichungen zwischen den Probanden sichtbar. So stellt der Bereich Aktivität in Sport und Freizeit mit 5 Punkten den niedrigsten Wert eines Patienten dar. Es wäre notwendig für eine abschließende Bewertung den Fragebogen zu mehreren Zeiten, eventuell auch vor einer Verletzung ausfüllen zu lassen.

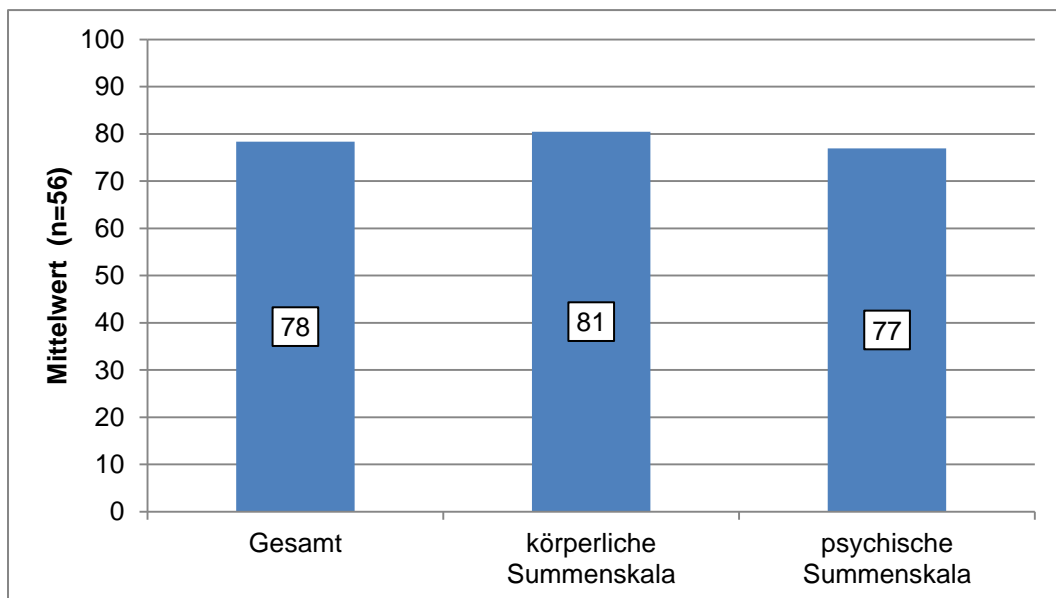


Abb. 30: Auswertung des SF-12 in den verschiedenen Skalen und Gesamt (n=56)

In Abbildung 30 ist die Auswertung des SF-12 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Probanden in beiden Skalen im Durchschnitt ähnliche Punktwerte erreichten (körperliche Summenskala= 81 Punkte und psychische Summenskala 77 Punkte). Das spiegelt sich auch im Gesamtbild mit 78 Punkten wieder. In der körperlichen Summenskala wurden dagegen die besten Werte erreicht. Natürlich muss diese für jeden Probanden einzeln betrachtet werden. So erreichten in der körperlichen Summenskala 5 Patienten 100 Punkte und in der psychischen Summenskala 3 Patienten. In der Gesamtauswertung erreichte kein Proband 100 Punkte. Die

Spannweite in der körperlichen Summenskala beträgt 36 bis 100 Punkte, in der psychischen Summenskala von 38 bis 100 Punkte und in der Gesamtauswertung von 40 bis 97 Punkte. Die Skalen haben ähnliche Minima. Das heißt aber nicht, dass die Probanden in allen Bereichen gleiche Ergebnisse aufweisen. So hat ein Patient in der körperlichen Summenskala lediglich 35,7 Punkte erreicht, in der psychischen Summenskala jedoch 81,0 und in der Gesamtskala 62,9 Punkte. Ein anderer Proband mit dem Wert von 38,0 Punkten in der psychischen Summenskala hat hingegen in der körperlichen Skala 78,6 und in der Gesamtskala 54,3 Punkte. So kann bei Betrachtung der Einzelergebnisse für den Patienten entschieden werden, ob die bestehenden Probleme eine körperliche oder psychische Quelle haben und ein Handlungsbedarf in der Therapie besteht.

### **Subjektives Empfinden vs. IBS**

In Tabelle 5 sind relevante Zusammenhänge zwischen der Schmerzangabe und den Parametern F1 ( $\eta_p^2=0,440$ ) und F2-4 ( $\eta_p^2=0,151$ ) des IBS zu MZP 4 zu finden. Patienten ohne Schmerzen haben im Gegensatz zu Patienten mit Schmerzen bei Belastung in F1 und F2-4 eine relevant höhere posturographische Leistungsfähigkeit erzielt. So stimmt das Schmerzempfinden in MZP 4 mit den Ergebnissen des visuellen-nigrostriatalen und peripher-vestibulären Subsystems überein. Insgesamt zeigten Patienten ohne Schmerzen in den posturographischen Parametern eine höhere Leistungsfähigkeit (Tab. 5). Im Verlauf sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 Verbesserungen der Werte erkennbar. Dennoch sind bei ST zu MZP 4 in Tabelle 6 erhöhte Werte im Parameter Schmerz bei Belastung, auch in Vergleich zu MZP 3, sichtbar. Hier muss allerdings das kleinere Patientenkollektiv (MZP 3: n=34, MZP 4: n=20) berücksichtigt werden.

Tab. 5: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Schmerzempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001.

Parameter	Patienten mit Schmerzen in Ruhe, mit Schmerzen bei Belastung und ohne Schmerzen (MW ± SD)								
	MZP 1		MZP 2			MZP 3		MZP 4	
	Schmerz in Ruhe (n=48)	Schmerz bei Belastung (n=26)	Schmerz in Ruhe (n=11)	Schmerz bei Belastung (n=45)	kein Schmerz (n=19)	Schmerz bei Belastung (n=34)	kein Schmerz (n=31)	Schmerz bei Belastung (n=20)	kein Schmerz (n=45)
<b>F1</b>	18,0 ± 6,09	18,6 ± 5,49	19,1 ± 6,87	19,5 ± 6,83	17,5 ± 5,16	18,0 ± 6,44	17,6 ± 6,25	20,2 ± 6,89	17,4 ± 5,71
Varianzanalyse	Effekt: p=0,722; $\eta_p^2=0,002$		Haupteffekt: p=0,524; $\eta_p^2=0,018$ größter Teileffekt: p=1,000			Effekt: p=0,787; $\eta_p^2=0,001$		Effekt: p=0,107; $\eta_p^2=0,440$	
<b>F2-4</b>	10,2 ± 2,87	9,95 ± 2,89	10,9 ± 2,60	10,2 ± 2,98	9,15 ± 2,43	9,70 ± 2,49	10,0 ± 2,84	12,0 ± 3,49	9,35 ± 2,75
Varianzanalyse	Effekt: p=0,751; $\eta_p^2=0,001$		Haupteffekt: p=0,218; $\eta_p^2=0,041$ größter Teileffekt: p <sub>1/3</sub> =0,302			Effekt: p=0,622; $\eta_p^2=0,004$		Effekt: p=0,002; $\eta_p^2=0,151$	
<b>F5-6</b>	4,18 ± 1,38	3,89 ± 1,03	4,45 ± 1,08	4,10 ± 1,18	3,66 ± 0,88	4,05 ± 1,22	3,78 ± 0,88	4,64 ± 1,19	3,84 ± 1,07
Varianzanalyse	Effekt: p=0,346; $\eta_p^2=0,012$		Haupteffekt: p=0,147; $\eta_p^2=0,052$ größter Teileffekt: p <sub>1/3</sub> =0,188			Effekt: p=0,300; $\eta_p^2=0,017$		Effekt: p=0,011; $\eta_p^2=0,107$	
<b>F7-8</b>	0,75 ± 0,23	0,72 ± 0,18	0,82 ± 0,25	0,75 ± 0,21	0,69 ± 0,20	0,71 ± 0,24	0,69 ± 0,17	0,81 ± 0,23	0,66 ± 0,17
Varianzanalyse	Effekt: p=0,654; $\eta_p^2=0,003$		Haupteffekt: p=0,249; $\eta_p^2=0,038$ größter Teileffekt: p <sub>1/3</sub> =0,300			Effekt: p=0,722; $\eta_p^2=0,002$		Effekt: p=0,006; $\eta_p^2=0,123$	

Legende: MZP=Messzeitpunkt, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, 1=Schmerz in Ruhe, 2=Schmerz bei Belastung, 3=kein Schmerz

Tab. 6: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Schmerzempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001

Parameter	Patienten mit Schmerzen in Ruhe, mit Schmerzen bei Belastung und ohne Schmerzen (MW ± SD)								
	MZP 1		MZP 2			MZP 3		MZP 4	
	Schmerz in Ruhe (n=48)	Schmerz bei Belastung (n=26)	Schmerz in Ruhe (n=11)	Schmerz bei Belastung (n=45)	kein Schmerz (n=19)	Schmerz bei Belastung (n=34)	kein Schmerz (n=31)	Schmerz bei Belastung (n=20)	kein Schmerz (n=45)
<b>ST</b>	23,5±7,84	21,8±6,49	24,2±7,59	22,4±6,43	19,9±5,01	21,9±6,58	20,7±4,85	24,6±6,70	20,2±5,17
Varianzanalyse	Effekt: p=0,357; $\eta_p^2=0,012$		Haupteffekt: p=0,158; $\eta_p^2=0,050$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,212$			Effekt: p=0,383; $\eta_p^2=0,012$		Effekt: p=0,006; $\eta_p^2=0,125$	
<b>WDI</b>	6,70±3,89	5,81±2,14	5,52±4,08	5,63±2,31	6,29±2,83	5,07±2,52	5,63±2,30	5,01±1,60	5,7±2,43
Varianzanalyse	Effekt: p=0,287; $\eta_p^2=0,016$		Haupteffekt: p=0,639; $\eta_p^2=0,012$ größter Teileffekt: p=1,000			Effekt: p=0,355; $\eta_p^2=0,014$		Effekt: p=0,257; $\eta_p^2=0,022$	
<b>Synch</b>	444±260	550±204	568±257	586±163	609±121	624±125	594±123	640±135	595±161
Varianzanalyse	Effekt: p=0,077; $\eta_p^2=0,043$		Haupteffekt: p=0,810; $\eta_p^2=0,006$ größter Teileffekt: p=1,000			Effekt: p=0,324; $\eta_p^2=0,015$		Effekt: p=0,286; $\eta_p^2=0,020$	
<b>Left</b>	50,7±11,6	51,7±4,56	54,8±9,41	51,4±4,40	51,0±3,43	50,7±2,66	49,7±3,55	50,7±2,61	51,2±4,07
Varianzanalyse	Effekt: p=0,678; $\eta_p^2=0,002$		Haupteffekt: p=0,118; $\eta_p^2=0,058$ größter Teileffekt: $p_{1/2}=0,161$			Effekt: p=0,205; $\eta_p^2=0,025$		Effekt: p=0,599; $\eta_p^2=0,005$	
<b>Heel</b>	48,8±6,60	47,0±7,99	50,0±5,00	47,2±8,85	42,4±9,00	46,8±8,74	45,7±8,57	48,3±7,72	47,7±8,98
Varianzanalyse	Effekt: p=0,300; $\eta_p^2=0,015$		Haupteffekt: p=0,042; $\eta_p^2=0,084$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,061$			Effekt: p=0,617; $\eta_p^2=0,004$		Effekt: p=0,793; $\eta_p^2=0,001$	

Legende: MZP=Messzeitpunkt, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, 1=Schmerz in Ruhe, 2=Schmerz bei Belastung, 3=kein Schmerz

In Tab. 6 zeigten Patienten, die keinen Schmerz angegeben haben, posturographisch eine geringere Fersenbelastung. Im Gegensatz dazu wiesen Patienten, die Schmerzen bei Belastung und Ruhe beschrieben haben, eine höhere Belastung auf. So kann vermutet werden, je geringer der Schmerz, desto größer die Vorfußbelastung. Dies ließ sich jedoch nicht durch einen Effekt mit klinischer Relevanz bestätigen (maximalster Effekt MZP 2 Heel:  $\eta_p^2=0,084$ ). Der größte Teileffekt von  $p=0,061$  zu MZP 2 lag zwischen der Angabe Schmerz in Ruhe und kein Schmerz.

In den folgenden Tabellen 7 und 8 sind keine relevanten Gruppeneffekte zwischen Instabilitätsangabe und Parametern der IBS Messung zu erkennen. Der „größte“ Haupteffekt ist zu MZP 2 F5-6 ( $p=0,036$ ;  $\eta_p^2=0,102$ ) zu finden. Es zeigt sich, dass Patienten, die zu MZP 1, 2 und 3 keine Instabilität angegeben haben, auch innerhalb des Stabilitätsindex der IBS Messung eine höhere Stabilität zeigten, als Patienten, die eine Instabilität mit und ohne Umknicken angaben. Patienten ohne Instabilität haben größtenteils eine höhere Leistungsfähigkeit in den posturographischen Parametern, als Teilnehmer mit Instabilität mit Umknicken. Das Gefühl der Probanden ließ sich durch das IBS mit keinem klinisch relevanten Effekt verdeutlichen. Es muss bedacht werden, dass die Größe des Patientenkollektivs vor allem zwischen Patienten ohne Instabilität ( $n=43$ ) und Patienten mit Instabilität mit Umknicken ( $n=15$ ) stark differiert.



Tab. 7: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Instabilitätsempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001

Parameter	Patienten mit und ohne Instabilität (MW ± SD)					
	MZP 1			MZP 2		
	instabil mit Umknicken (n=36)	instabil ohne Umknicken (n=18)	nicht instabil (n=22)	instabil mit Umknicken (n=15)	instabil ohne Umknicken (n=17)	nicht instabil (n=43)
<b>F1</b>	19,9±5,96	16,3±6,64	16,8±3,81	20,6±6,41	15,7±3,79	17,9±5,29
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,037; $\eta_p^2=0,087$ größter Teileffekt: $p_{1/2}=0,083$			Haupteffekt: p=0,059; $\eta_p^2=0,087$ größter Teileffekt: $p_{1/2}=0,053$		
<b>F2-4</b>	10,9±2,83	9,62±2,83	9,36±2,72	11,5±3,01	9,65±2,42	9,29±2,48
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,099; $\eta_p^2=0,061$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,150$			Haupteffekt: p=0,040; $\eta_p^2=0,098$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,036$		
<b>F5-6</b>	4,51±1,39	3,73±1,09	3,77±1,10	4,58±1,12	3,86±1,09	3,71±0,91
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,034; $\eta_p^2=0,088$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,090$			Haupteffekt: p=0,036; $\eta_p^2=0,102$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,031$		
<b>F7-8</b>	0,79±0,23	0,70±0,19	0,71±0,22	0,82±0,24	0,68±0,20	0,70±0,19
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,211; $\eta_p^2=0,042$ größter Teileffekt: $p_{1/2}=0,439$			Haupteffekt: p=0,144; $\eta_p^2=0,061$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,203$		
<b>ST</b>	25,1±7,77	21,9±6,43	20,8±7,16	25,0±6,58	21,2±6,68	20,2±5,10
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,073; $\eta_p^2=0,069$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,094$			Haupteffekt: p=0,049; $\eta_p^2=0,093$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,043$		
<b>WDI</b>	6,44±3,93	6,80±3,43	5,77±2,13	5,39±2,48	5,49±1,81	5,68±2,65
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,616; $\eta_p^2=0,013$ größter Teileffekt: p=1,000			Haupteffekt: p=0,923; $\eta_p^2=0,003$ größter Teileffekt: p=1,000		
<b>Synch</b>	461±275	456±245	524±186	532±259	644±113	587±144
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,585; $\eta_p^2=0,015$ größter Teileffekt: p=1,000			Haupteffekt: p=0,170; $\eta_p^2=0,048$ größter Teileffekt: $p_{1/2}=0,184$		
<b>Left</b>	50,1±11,0	51,6±10,9	52,4±4,75	51,1±5,47	51,9±4,90	51,1±3,11
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,656; $\eta_p^2=0,011$ größter Teileffekt: p=1,000			Haupteffekt: p=0,794; $\eta_p^2=0,007$ größter Teileffekt: p=1,000		
<b>Heel</b>	49,0±6,27	47,8±7,51	47,7±8,26	48,6±8,67	46,3±7,45	45,7±9,26
Varianzanalyse	Haupteffekt: p=0,749; $\eta_p^2=0,008$ größter Teileffekt: p=1,000			Haupteffekt: p=0,623; $\eta_p^2=0,015$ größter Teileffekt: $p_{1/3}=0,998$		

Legende: MZP=Messzeitpunkt, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung,  
1=Instabilität mit Umknicken, 2=Instabilität ohne Umknicken, 3=keine Instabilität

Tab. 8: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Instabilitätsempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001

Parameter	Patienten mit und ohne Instabilität (MW ± SD)			
	MZP 3		MZP 4	
	instabil ohne Umknicken (n=16)	nicht instabil (n=48)	instabil ohne Umknicken (n=10)	nicht instabil (n=50)
<b>F1</b>	17,4±4,91	18,0±6,13	18,4±6,28	18,4±6,28
Varianz-analyse	Effekt: p=0,835; $\eta_p^2=0,001$		Effekt: p=0,833; $\eta_p^2=0,001$	
<b>F2-4</b>	10,1±3,07	10,5±2,72	10,2±3,35	10,2±3,35
Varianz-analyse	Effekt: p=0,827; $\eta_p^2=0,001$		Effekt: p=0,731; $\eta_p^2=0,002$	
<b>F5-6</b>	4,27±1,32	4,18±0,89	4,11±1,22	4,11±1,22
Varianz-analyse	Effekt: p=0,151; $\eta_p^2=0,033$		Effekt: p=0,869; $\eta_p^2=0,000$	
<b>F7-8</b>	0,75±0,23	0,76±0,16	0,70±0,20	0,70±0,20
Varianz-analyse	Effekt: p=0,191; $\eta_p^2=0,027$		Effekt: p=0,418; $\eta_p^2=0,011$	
<b>ST</b>	23,1±7,10	23,0±5,10	21,4±6,21	21,4±6,21
Varianz-analyse	Effekt: p=0,168; $\eta_p^2=0,030$		Effekt: p=0,443; $\eta_p^2=0,010$	
<b>WDI</b>	5,64±2,14	4,53±1,18	5,55±2,33	5,55±2,33
Varianz-analyse	Effekt: p=0,553; $\eta_p^2=0,006$		Effekt: p=0,183; $\eta_p^2=0,030$	
<b>Synch</b>	604±113	628±113	611±163	611±163
Varianz-analyse	Effekt: p=0,772; $\eta_p^2=0,001$		Effekt: p=0,741; $\eta_p^2=0,002$	
<b>Left</b>	50,1±2,68	49,5±3,84	51,2±3,57	51,2±3,57
Varianz-analyse	Effekt: p=0,871; $\eta_p^2=0,000$		Effekt: p=0,190; $\eta_p^2=0,029$	
<b>Heel</b>	47,6±9,01	47,7±4,19	47,5±8,89	47,5±8,89
Varianz-analyse	Effekt: p=0,713; $\eta_p^2=0,002$		Effekt: p=0,943; $\eta_p^2=0,000$	

Legende: MZP=Messzeitpunkt, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, 1=Instabilität mit Umknicken, 2=Instabilität ohne Umknicken, 3=keine Instabilität

### Subjektives Empfinden vs. Fragebögen FAOS und SF-12

In Tabelle 9 ist kein relevanter Zusammenhang zwischen der Instabilitätsangabe und dem Ergebnis des FAOS erkennbar (maximal:  $\eta_p^2=0,124$  im Bereich Lebensqualität). Im zum MZP 4 erhobenen FAOS- Fragebogen zeigten sich im Bereich Lebensqualität mit  $\bar{X}$  70 Punkten bei Patienten ohne Instabilität höhere Werte, als bei Patienten, welche Instabilität ohne Umknicken (52 Punkte) und Instabilität mit Umknicken (56 Punkte) angaben. Die höheren Werte bei Patienten mit Umknicken könnten mit der geringen Patientenzahl von 2 Probanden erklärt werden.

Tab. 9: Beziehung zwischen der Instabilitäts- und Schmerzangabe der Patienten zu MZP 4 und den Ergebnissen des FAOS's.

		Instabilität (n=53)			Schmerzen (n=53)		
		Instabilität mit Umknicken (n=2)	instabil ohne Umknicken (n=8)	nicht instabil (n=43)	Schmerz in Ruhe (n=2)	Schmerz bei Belastung (n=17)	kein Schmerz (n=34)
<b>FAOS Parameter</b>							
<b>Schmerz</b>	<b>MW±SD</b>	88,9±7,86	83,0±14,0	84,7±18,4	69,4±3,93	83,0±12,1	86,3±19,6
	<b>p</b>	0,912			0,378		
	<b><math>\eta_p^2</math></b>	0,004			0,038		
<b>Symptome</b>	<b>MW±SD</b>	82,1±0,00	70,5±24,0	80,7±14,3	66,1±2,53	77,5±11,7	80,8±18,0
	<b>p</b>	0,251			0,394		
	<b><math>\eta_p^2</math></b>	0,054			0,037		
<b>Aktivität in Sport und Freizeit</b>	<b>MW±SD</b>	62,5±17,7	76,9±20,0	78,3±22,5	45,0±14,1	79,7±14,4	78,2±24,1
	<b>p</b>	0,616			0,097		
	<b><math>\eta_p^2</math></b>	0,019			0,089		
<b>Aktivität im alltäglichen Leben</b>	<b>MW±SD</b>	87,5±13,5	90,8±8,67	94,4±10,47	87,5±1,04	92,9±8,98	94,3±11,1
	<b>p</b>	0,616			0,097		
	<b><math>\eta_p^2</math></b>	0,019			0,089		
<b>Lebensqualität</b>	<b>MW±SD</b>	56,3±35,4	51,6±15,9	70,3±19,2	65,6±4,42	61,0±12,2	70,0±23,3
	<b>p</b>	0,037			0,329		
	<b><math>\eta_p^2</math></b>	0,124			0,044		

Legende: MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Auf dieses kleine Kollektiv ist wahrscheinlich auch das Ergebnis im Bereich Symptome zurückzuführen. Wenn man das kleine Kollektiv unberücksichtigt lässt und lediglich Probanden mit Instabilität ohne Umknicken vs. keiner Instabilität vergleicht, lässt sich eine stetige Verbesserung der FAOS Ergebnisse hin zu höheren Punktwerten erkennen. Ebenso verhält es sich im Vergleich von Probanden mit Schmerzen bei Belastung vs. Probanden mit keinem Schmerz. So gibt der Fragebogen das subjektive Empfinden der Probanden wieder. Der SF-12 zeigte keinerlei relevante Korrelationen mit der Schmerzangabe der Patienten. Die „größte“ Beziehung ( $r=0,142$ ) bestand zwischen Schmerzangabe und der körperlichen Summenskala. Auch für den Parameter Instabilität gab es keine relevanten Korrelationen mit dem SF-12 in allen 3 Skalen. Die „größte“ Beziehung wurde in der Gesamtskala mit  $r=0,342$  gefunden.

### **Fragebögen FAOS und SF-12 vs. IBS**

Es zeigten sich keine relevanten Zusammenhänge in der Korrelation zwischen Parametern des FAOS und des IBS. Die „größte“ Korrelation ( $r=0,288$ ) wurde zwischen Frequenzbereich 5-6 zum MZP 4 und dem Parameter Aktivität des alltäglichen Lebens gefunden. Im SF-12 zeigte sich ebenfalls eine geringe Korrelation ( $r_{\max}=0,302$ ) in der psychischen Summenskala und dem Parameter Frequenzbereich 7-8.

## **4.4 Auswertung der manuellen Untersuchung**

### **Manuelle Untersuchung im Untersuchungsverlauf**

Im Verlauf zeigte sich, dass ein stetiger Symptomrückgang in der manuellen Untersuchung zu sehen ist und so ein Heilungsverlauf dokumentiert werden kann (Tab. 10). Zu MZP 1 ( $n=71$ ) hatten 48 Probanden einen lockeren lateralen Schub und 54 einen lockeren AP Schub. Zum MZP 4 ( $n=65$ ) hatten jedoch nur noch 7 Probanden einen lockeren lateralen und 6 einen lockeren AP Schub. Auch in den anderen Untersuchungen, wie Frick-Test (MZP 1: 19 positiv, MZP 4: 0 positiv), Peronealanspanntest (MZP 1: 7 pos., MZP 4: 0 pos.), Einbeinstand (MZP 1: 54 unsicher, MZP 4: 1 unsicher), Dorsalextension (MZP 1: 26 eingeschränkt, MZP 4: 2 eingeschränkt), Plantarflexion (MZP 1: 28 eingeschränkt, MZP 4: 3 eingeschränkt), prox. tibiofibularer DS (MZP 1: 14 eingeschränkt, MZP 4: 0 eingeschränkt), Kapselschwellung (MZP 1: 73 pos., MZP 4: 19 pos.), DS anterolateral (MZP 1: 69 pos., MZP 4: 12 pos.), DS medial (MZP 1: 47 pos., MZP 4: 9 pos.) und DS der Syndesmose (MZP 1: 31 pos., MZP 4: 0 pos.), ist eine Verbesserung im Verlauf zu erkennen.

Tab. 10: Verteilung der Probanden auf die Ergebnisse der manuellen Untersuchung zu allen vier Messzeitpunkten

Parameter		Probandenanzahl zum jeweiligen Messzeitpunkt (MZP)			
		MZP 1 (n=71)	MZP 2 (n=74)	MZP 3 (n=71)	MZP 4 (n=64)
AP Schub	locker	54	18	11	6
	fest	17	56	60	58
lateraler Schub	locker	48	14	6	6
	fest	23	60	65	58
Frick Test	positiv	19	9	0	0
	negativ	52	65	71	64
Peronalanspanntest	positiv	7	3	7	0
	negativ	64	71	64	64
Einbeinstand	unsicher	52	15	3	1
	sicher	19	59	68	63
Dorsalextension	eingeschränkt	26	16	8	2
	frei	45	58	63	62
Plantarflexion	eingeschränkt	28	18	13	3
	frei	43	56	63	61
Kapselschwellung	ja	70	50	31	18
	nein	1	24	40	46
prox. tibiofibularer DS	eingeschränkt	14	1	2	0
	frei	57	73	69	64
medialer DS	ja	45	25	11	9
	nein	26	49	60	55
anterolateraler DS	ja	66	56	33	12
	nein	5	18	38	52
DS Syndesmose	ja	29	9	3	0
	nein	42	64	68	64

Legende: MZP=Messzeitpunkt, AP=anterior-posterior, prox.=proximal, DS=Druckschmerz

## AP Vorschub vs. IBS

In Tabelle 11 und 12 sind keine relevanten Mittelwertdifferenzen zwischen AP Vorschub und den IBS Parametern zu finden (maximal:  $\eta_p^2=0,069$  Parameter Heel zu MZP 3). Patienten, die in der manuellen Untersuchung im AP Vorschub fest erschienen, haben im Verlauf eine geringere Fersenbelastung, als Patienten, welche im AP Vorschub einen lockeren Eindruck hinterließen, jedoch ohne klinisch relevanten Effekt.

Tab. 11: Deskriptive Datenanalyse seitens der posturographischen Paramater und dem AP Vorschub (MW  $\pm$  SD)

Parameter	Patienten mit lockerem oder festem AP Vorschub (MW $\pm$ SD)							
	MZP 1		MZP 2		MZP 3		MZP 4	
	AP locker (n=54)	AP fest (n=17)	AP locker (n=18)	AP fest (n=56)	AP locker (n=11)	AP fest (n=60)	AP locker (n=6)	AP fest (n=55)
<b>F1</b>	18,5 $\pm$ 5,79	16,2 $\pm$ 5,95	18,0 $\pm$ 5,65	19,1 $\pm$ 6,73	18,8 $\pm$ 6,89	18,1 $\pm$ 6,60	20,7 $\pm$ 5,55	18,2 $\pm$ 6,16
<b>F2-4</b>	10,2 $\pm$ 2,73	9,64 $\pm$ 3,33	10,2 $\pm$ 2,61	9,98 $\pm$ 2,93	10,7 $\pm$ 3,38	9,92 $\pm$ 2,59	11,2 $\pm$ 4,07	10,1 $\pm$ 3,13
<b>F5-6</b>	4,12 $\pm$ 1,26	4,00 $\pm$ 1,28	4,21 $\pm$ 0,83	4,01 $\pm$ 1,20	3,99 $\pm$ 0,96	4,01 $\pm$ 1,10	4,81 $\pm$ 1,35	4,01 $\pm$ 1,11
<b>F7-8</b>	0,75 $\pm$ 0,21	0,70 $\pm$ 0,22	0,77 $\pm$ 0,22	0,74 $\pm$ 0,21	0,72 $\pm$ 0,19	0,71 $\pm$ 0,21	0,80 $\pm$ 0,21	0,70 $\pm$ 0,19
<b>ST</b>	23,2 $\pm$ 7,15	21,7 $\pm$ 7,35	23,3 $\pm$ 6,11	21,8 $\pm$ 6,46	21,8 $\pm$ 4,86	21,7 $\pm$ 6,05	23,9 $\pm$ 5,25	21,2 $\pm$ 5,93
<b>WDI</b>	5,96 $\pm$ 2,90	5,88 $\pm$ 2,37	4,98 $\pm$ 2,25	5,97 $\pm$ 2,83	4,56 $\pm$ 1,51	4,52 $\pm$ 2,50	5,81 $\pm$ 2,88	5,40 $\pm$ 2,14
<b>Synch</b>	483 $\pm$ 247	516 $\pm$ 184	591 $\pm$ 172	589 $\pm$ 171	618 $\pm$ 100	603 $\pm$ 137	513 $\pm$ 174	628 $\pm$ 151
<b>Left</b>	50,8 $\pm$ 8,42	52,8 $\pm$ 5,53	52,0 $\pm$ 5,88	51,7 $\pm$ 5,18	48,5 $\pm$ 3,10	50,7 $\pm$ 3,50	48,8 $\pm$ 2,74	51,4 $\pm$ 3,49
<b>Heel</b>	49,3 $\pm$ 6,69	46,7 $\pm$ 7,99	50,3 $\pm$ 6,99	45,4 $\pm$ 8,79	51,8 $\pm$ 6,84	45,6 $\pm$ 8,57	50,1 $\pm$ 12,3	47,7 $\pm$ 8,13

Legende: MZP=Messzeitpunkt, AP=anterior-posterior, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Tab. 12: Inferenzstatistisch Datenanalyse ( $p$ ,  $\eta_p^2$ ) seitens der posturographischen Parameter und dem AP Vorschub

Parameter	Patienten mit lockerem oder festem AP Vorschub							
	MZP 1		MZP 2		MZP 3		MZP 4	
	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$
F1	0,153	0,029	0,535	0,005	0,748	0,002	0,354	0,015
F2-4	0,496	0,007	0,729	0,002	0,387	0,011	0,435	0,010
F5-6	0,659	0,003	0,502	0,006	0,959	0,000	0,106	0,044
F7-8	0,441	0,009	0,511	0,006	0,924	0,000	0,223	0,025
ST	0,439	0,009	0,382	0,011	0,978	0,000	0,296	0,018
WDI	0,931	0,000	0,178	0,025	0,225	0,021	0,668	0,003
Synch	0,611	0,004	0,969	0,000	0,728	0,002	0,087	0,049
Left	0,358	0,012	0,848	0,001	0,058	0,051	0,090	0,048
Heel	0,184	0,025	0,034	0,061	0,026	0,069	0,504	0,008

Legende: MZP=Messzeitpunkt, AP=anterior-posterior

Tab. 13: Deskriptive Datenanalyse seitens der posturographischen Parameter und dem lateralen Schub (MW  $\pm$  SD)

Parameter	Patienten mit lockerem oder festem lateralen Schub (MW $\pm$ SD)							
	MZP 1		MZP 2		MZP 3		MZP 4	
	lateral locker (n=48)	lateral fest (n=23)	lateral locker (n=14)	lateral fest (n=60)	lateral locker (n=6)	lateral fest (n=58)	lateral locker (n=7)	lateral fest (n=54)
F1	18,8 $\pm$ 5,35	16,3 $\pm$ 6,65	18,3 $\pm$ 7,65	19,0 $\pm$ 6,22	15,2 $\pm$ 5,71	18,2 $\pm$ 6,35	20,4 $\pm$ 6,06	18,2 $\pm$ 6,13
F2-4	10,4 $\pm$ 2,56	9,40 $\pm$ 3,40	10,3 $\pm$ 3,34	9,99 $\pm$ 2,74	9,19 $\pm$ 2,45	10,2 $\pm$ 2,95	11,6 $\pm$ 4,40	10,1 $\pm$ 3,04
F5-6	4,15 $\pm$ 1,24	3,92 $\pm$ 1,30	4,14 $\pm$ 0,90	4,04 $\pm$ 1,17	3,71 $\pm$ 0,46	4,07 $\pm$ 1,15	4,55 $\pm$ 1,19	4,03 $\pm$ 1,14
F7-8	0,76 $\pm$ 0,20	0,70 $\pm$ 0,24	0,79 $\pm$ 0,24	0,73 $\pm$ 0,20	0,66 $\pm$ 0,08	0,72 $\pm$ 0,23	0,79 $\pm$ 0,24	0,69 $\pm$ 0,19
ST	23,7 $\pm$ 7,05	21,2 $\pm$ 7,29	23,8 $\pm$ 6,09	21,8 $\pm$ 6,21	20,0 $\pm$ 3,07	21,9 $\pm$ 6,38	24,7 $\pm$ 7,64	21,1 $\pm$ 5,57
WDI	5,81 $\pm$ 2,94	6,19 $\pm$ 2,41	5,60 $\pm$ 2,75	5,76 $\pm$ 2,73	5,55 $\pm$ 2,02	5,19 $\pm$ 2,20	6,33 $\pm$ 2,92	5,33 $\pm$ 2,90
Synch	457 $\pm$ 242	562 $\pm$ 200	556 $\pm$ 199	598 $\pm$ 163	613 $\pm$ 172	619 $\pm$ 125	590 $\pm$ 140	620 $\pm$ 158
Left	51,6 $\pm$ 8,64	50,6 $\pm$ 5,03	52,2 $\pm$ 6,55	51,7 $\pm$ 5,05	49,1 $\pm$ 6,71	50,3 $\pm$ 2,71	51,3 $\pm$ 3,32	51,1 $\pm$ 3,54
Heel	50,2 $\pm$ 5,79	45,7 $\pm$ 8,49	48,5 $\pm$ 8,70	46,1 $\pm$ 8,59	45,8 $\pm$ 6,67	47,0 $\pm$ 8,46	42,5 $\pm$ 8,59	48,6 $\pm$ 8,34

Legende MZP=Messzeitpunkt, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Tab. 14: Inferenzstatistisch Datenanalyse ( $p$ ,  $\eta_p^2$ ) seitens der posturographischen Parameter und dem lateralen Schub

Parameter	Patienten mit lockerem oder festem lateralen Schub							
	MZP 1		MZP 2		MZP 3		MZP 4	
	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$
<b>F1</b>	0,089	0,041	0,723	0,002	0,276	0,019	0,372	0,014
<b>F2-4</b>	0,183	0,026	0,725	0,001	0,446	0,009	0,246	0,023
<b>F5-6</b>	0,472	0,008	0,762	0,001	0,462	0,009	0,257	0,022
<b>F7-8</b>	0,331	0,014	0,332	0,013	0,565	0,005	0,221	0,025
<b>ST</b>	0,170	0,027	0,286	0,016	0,473	0,008	0,128	0,039
<b>WDI</b>	0,595	0,004	0,840	0,001	0,708	0,002	0,259	0,022
<b>Synch</b>	0,076	0,045	0,413	0,009	0,916	0,000	0,639	0,004
<b>Left</b>	0,587	0,004	0,766	0,001	0,373	0,013	0,898	0,000
<b>Heel</b>	0,010	0,091	0,355	0,012	0,755	0,002	0,074	0,053

Legende: MZP=Messzeitpunkt

### Lateraler Schub vs. IBS

In Tabelle 13 und 14 sind keine klinisch relevanten Veränderungen zwischen lateralem Schub und den IBS Parametern zu erkennen (maximal:  $\eta_p^2=0,091$  Heel zu MZP 1).

### Körperliche Untersuchung vs. subjektives Empfinden

In Tabelle 15 ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen Schmerzangabe und Dorsalextension, Plantarflexion und DS medial zu MZP 1 sowie Kapselschwellung und DS anterolateral zu MZP 4 zu finden. So haben z. B. Probanden, welche Schmerzen bei Belastung in MZP 1 nannten, in der manuellen Untersuchung meist keine eingeschränkte Dorsalextension und Plantarflexion (Abb. 31, Abb. 32). Zu MZP 1 zeigte sich auch, dass Patienten, die Schmerzen in Ruhe hatten, zum Großteil einen DS medial verspürten (Abb. 35). Ebenso hatten Teilnehmer, die zu MZP 4 keine Schmerzen mehr beschrieben, auch fast keinen anterolateralen Druckschmerz und keine Kapselschwellung mehr. (Abb. 33, Abb. 34).



Tab. 15: Beziehung zwischen dem subjektiv empfundenen Schmerz und Parametern der körperlichen Untersuchung zu den MZP 1 und 4

Parameter	Schmerz			
	MZP 1		MZP 4	
	Chi-Quadrat	p	Chi-Quadrat	p
AP Vorschub	1,489	0,475	1,485	0,476
Lateraler Schub	1,899	0,387	4,416	0,110
Einbeinstand	4,148	0,126	2,596	0,273
Dorsalextension	<b>8,191</b>	<b>0,017</b>	0,521	0,771
Plantarflexion	<b>10,15</b>	<b>0,006</b>	4,655	0,098
Kapselschwellung	1,987	0,370	<b>10,46</b>	<b>0,005</b>
Druckschmerz anterolateral	1,703	0,427	<b>10,46</b>	<b>0,005</b>
Druckschmerz medial	<b>6,837</b>	<b>0,033</b>	4,029	0,133

Legende: MZP=Messzeitpunkt

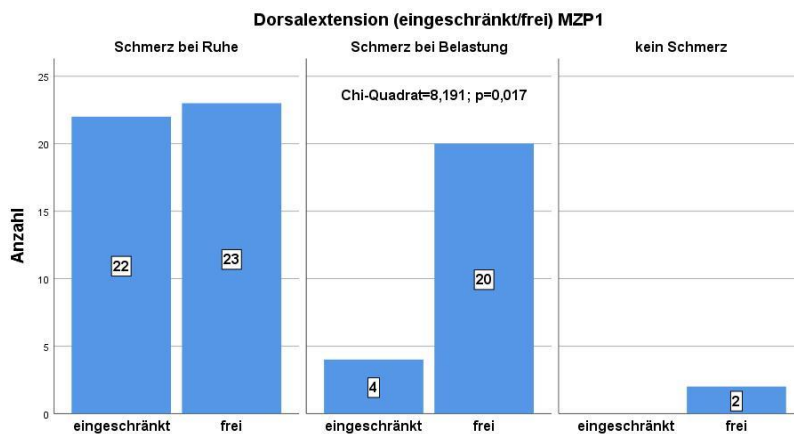


Abb. 31: Zusammenhang zwischen dem Parameter Dorsalextension aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 1.

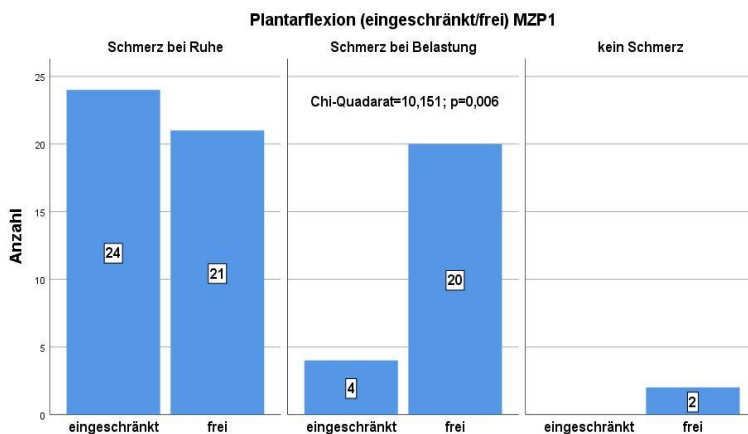


Abb. 32: Zusammenhang zwischen dem Parameter Plantarflexion aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 1.

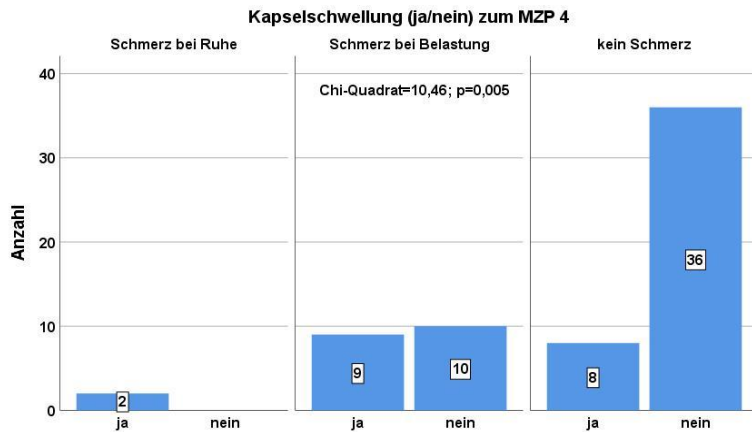


Abb. 33: Zusammenhang zwischen dem Parameter Kapselschwellung aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 4.

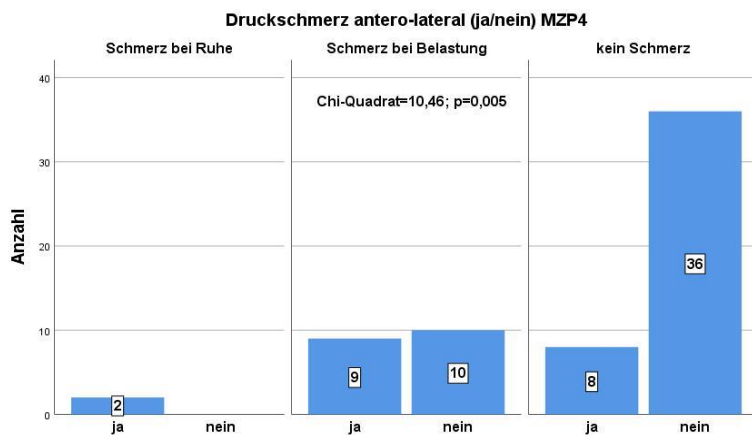


Abb. 34: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz anterolateral aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 4.

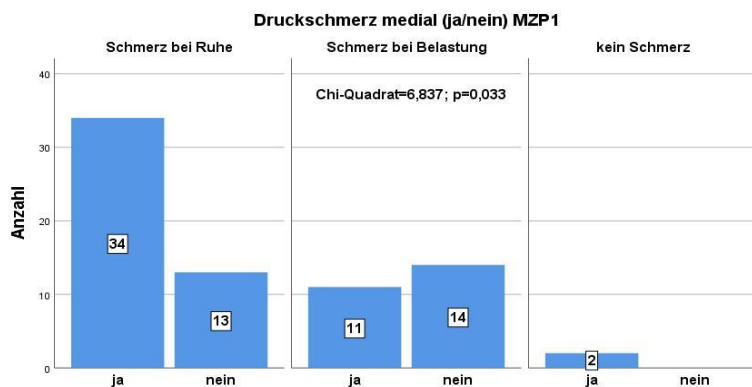


Abb. 35: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz medial aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 1.

In Tabelle 16 ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen Instabilitätsangabe und DS medial in MZP 1 und Kapselschwellung, DS anterolateral, DS medial in MZP 4 sichtbar. Patienten, welche zu MZP 1 eine Instabilität mit Umknicken angaben, hatten meist einen Druckschmerz medial (Abb. 37) und Probanden ohne Umknicken zum MZP 4 keinen Druckschmerz medial (Abb. 38). So steht das Instabilitätsgefühl der Teilnehmer im Zusammenhang mit dem empfundenen medialen Druckschmerz. Ebenso hatten Patienten zu MZP 4, die kein Umknicken beschrieben, vielfach keine Kapselschwellung (Abb. 36) und keinen anterolateralen Druckschmerz mehr (Abb. 39).

Tab. 16: Beziehung zwischen der subjektiv empfundenen Instabilität und Parametern der körperlichen Untersuchung zu MZP 1 und MZP 4

Parameter	Instabilität			
	MZP 1		MZP 4	
	Chi-Quadrat	p	Chi-Quadrat	p
AP Vorschub	1,767	0,413	1,347	0,510
Lateraler Schub	1,047	0,592	0,249	0,883
Einbeinstand	3,956	0,138	0,211	0,900
Dorsalextension	2,015	0,365	2,229	0,328
Plantarflexion	1,096	0,578	0,528	0,768
Kapselschwellung	2,558	0,278	<b>9,973</b>	<b>0,007</b>
Druckschmerz anterolateral	0,273	0,873	<b>9,973</b>	<b>0,007</b>
Druckschmerz medial	<b>7,296</b>	<b>0,026</b>	<b>8,141</b>	<b>0,017</b>

Legende: MZP=Messzeitpunkt

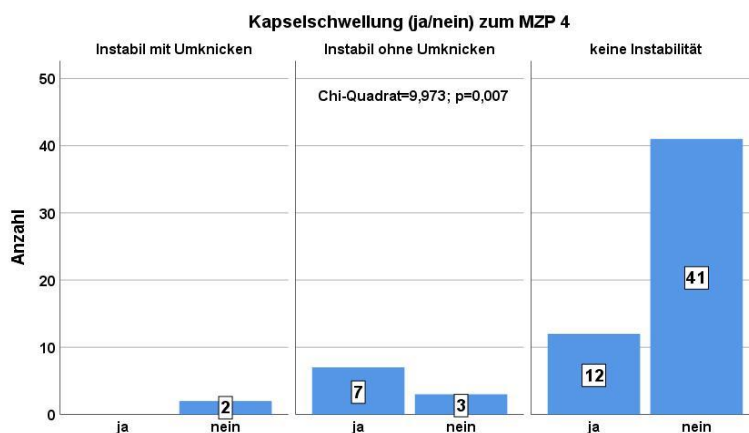


Abb. 36: Zusammenhang zwischen dem Parameter Kapselschwellung und der Instabilitätsangabe zum MZP 4.

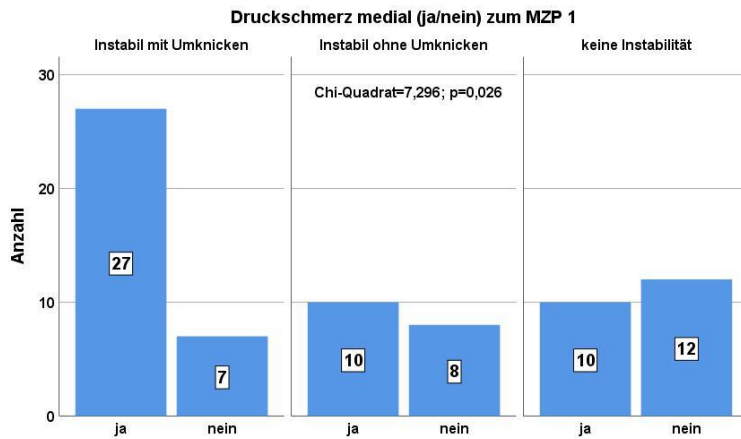


Abb. 37: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz medial aus der manuellen Untersuchung und der Instabilitätsangabe zum MZP 1.

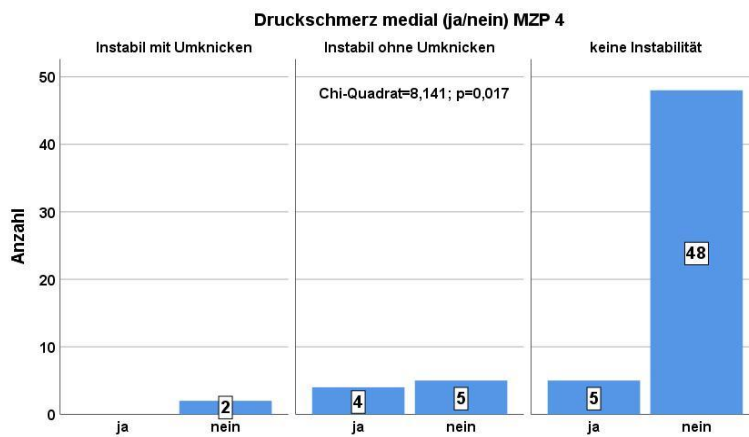


Abb. 38: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz medial aus der manuellen Untersuchung und der Instabilitätsangabe zu MZP 4.

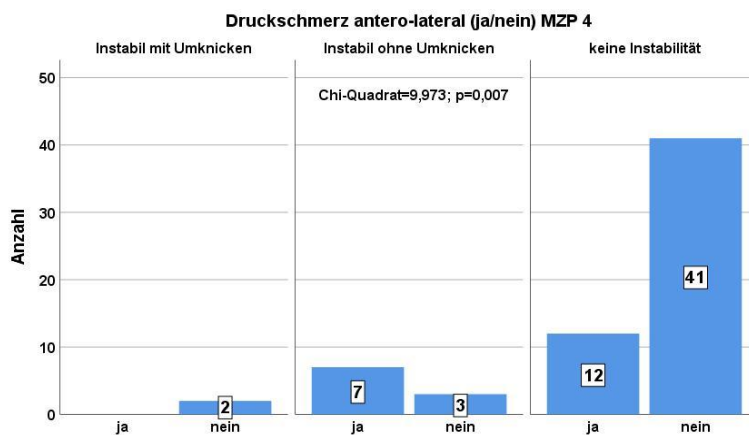


Abb. 39: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz anterolateral aus der manuellen Untersuchung und der Instabilitätsangabe zum MZP 4.

## **Manuelle Untersuchung vs. Fragebögen SF-12 und FAOS**

Aufgrund der ungleichen Verteilung der Gruppen zum MZP 4 war es nicht sinnvoll, eine Korrelation zwischen den Fragebögen und den Untersuchungsparametern vorzunehmen. Der SF-12 zeigte zum MZP 4 lediglich in der körperlichen Summenskala und dem AP Vorschub eine leicht negative Beziehung ( $r=-0,335$ ).

## **4.5 Auswertung der Sporttests**

### **Ergebnisse BESS-Score**

Die Probanden ( $n=59$ ,  $\bar{\text{Alter}}$ : 29,5 Jahre) erreichten im Durchschnitt einen BESS Score von  $10,4 \pm 3,99$ . Im Vergleich mit den Referenzwerten für die Altersgruppe 20-29 und 30-39 mit  $11,3 \pm 4,8$  und  $11,5 \pm 5,5$ , erreichten die Teilnehmer sehr gute Gesamtergebnisse (Iverson und Köhle, 2013). So liegen die Werte unter Einbezug der Standardabweichung ausschließlich im „überdurchschnittlichen“ (20-29: 5-7; 30-39: 6-7) und „weitestgehend normalen“ (20-29: 8-14; 30-39: 8-15) Bereich (Iverson und Köhle, 2013). Die Spannweite beträgt jedoch 4-26 Punkte. Probanden ( $n=5$ ), die Werte  $\geq 15$  erreicht haben, sind dabei durchschnittlich 41,2 Jahre alt. Die Teilnehmer ( $n=4$ ) mit dem Durchschnittsalter von 47,4 Jahren ließen sich mit ihren Ergebnissen dem „weitestgehend normalen“, „unterdurchschnittlichen“ und „schlechten“ Bereich zuordnen. Hervorzuheben ist, dass kein Proband den „sehr schlechten“ Bereich erreichte. In der Korrelation mit den posturographischen Parametern zeigten sich keine relevanten Zusammenhänge ( $r_{\text{max}}=0,363$ , BESS-Score vs. F2-4).

### **SpeedCourt vs. IBS und manueller Untersuchung**

Der SpeedCourt wurde zur Messung von Bodenkontaktzeiten und der Anzahl der Bodenkontakte beim Tapping sowie für die Messung der BK-Zeiten und der Sprunghöhen des einbeinigen und beidbeinigen Drop Jump genutzt. Im Tapping ergab sich ein Mittelwert von  $123 \pm 23$  Kontakte und eine BK-Zeit des rechten Fußes von  $115 \text{ ms} \pm 23 \text{ ms}$  und des linken von  $116 \text{ ms} \pm 22 \text{ ms}$ . Im Drop Jump fanden sich folgende Ergebnisse:

beidbeinig: Höhe:  $MW=24,9 \text{ cm} \pm 9,63 \text{ cm}$ , BK-Zeit:  $MW=293 \text{ ms} \pm 103 \text{ ms}$ ;

einbeinig rechts: Höhe:  $MW=14,9 \text{ cm} \pm 6,47 \text{ cm}$ ; BK-Zeit:  $MW=324 \text{ ms} \pm 90 \text{ ms}$ ;

einbeinig links: Höhe:  $MW=14,9 \text{ cm} \pm 6,19 \text{ cm}$ ; BK-Zeit:  $MW=330 \text{ ms} \pm 82 \text{ ms}$ .

Tab. 17: Beziehung zwischen Ergebnissen der motorische Tests (Tapping, Drop Jump) und Parametern der posturographischen und manuellen Untersuchung

Parameter	SpeedCourt									
	Tapping					DJ bilateral				
	Anzahl		BK-Zeit rechts		BK-Zeit links		Höhe		BK-Zeit	
IBS										
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
<b>F 1</b>	0,155	0,423	-0,130	0,502	-0,228	0,234	-0,029	0,884	0,099	0,616
<b>F 2-4</b>	0,005	0,981	0,179	0,353	0,000	1,000	-0,094	0,634	0,235	0,228
<b>F 5-6</b>	0,065	0,737	0,172	0,373	0,042	0,830	0,005	0,982	0,075	0,706
<b>F 7-8</b>	0,124	0,521	0,128	0,508	-0,029	0,881	-0,004	0,984	0,075	0,706
<b>ST</b>	0,139	0,473	0,114	0,555	-0,028	0,886	0,033	0,866	0,080	0,686
<b>WDI</b>	0,097	0,618	-0,236	0,218	-0,138	0,475	-0,162	0,409	-0,303	0,117
<b>Synch</b>	-0,076	0,697	0,243	0,205	0,203	0,291	-0,267	0,169	0,141	0,473
<b>Left</b>	-0,103	0,595	0,145	0,452	0,218	0,255	0,046	0,815	-0,211	0,280
<b>Heel</b>	0,016	0,934	0,005	0,979	0,080	0,679	0,169	0,390	0,174	0,377
manuelle Untersuchung										
	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$
<b>Kapselschwellung</b>	0,666	0,003	0,524	0,008	0,849	0,001	0,158	0,037	0,291	0,021
<b>AP Vorschub</b>	0,550	0,007	0,719	0,002	0,230	0,027	0,705	0,003	0,582	0,006

Legende: DJ=Drop Jump, BK-Zeit=Bodenkontaktzeit, AP=anterior-posterior

Tab. 18: Korrelation zwischen Parametern des DJs und Parametern der posturographischen und manuellen Untersuchung

Parameter	SpeedCourt							
	DJ rechts				DJ links			
	Höhe		BK-Zeit		Höhe		BK-Zeit	
IBS								
	r	p	r	p	r	p	r	p
F 1	-0,026	0,131	0,292	0,896	0,135	0,494	0,234	0,231
F 2-4	-0,216	0,270	<b>0,523</b>	<b>0,004</b>	-0,144	0,464	<b>0,466</b>	<b>0,012</b>
F 5-6	-0,088	0,656	0,369	0,053	-0,094	0,635	0,332	0,084
F 7-8	0,005	0,979	0,292	0,131	-0,035	0,859	0,203	0,301
ST	-0,030	0,878	0,371	0,052	-0,043	0,829	0,302	0,118
WDI	-0,126	0,522	-0,176	0,370	-0,022	0,912	-0,233	0,234
Synch	-0,269	0,166	-0,120	0,544	<b>-0,393</b>	<b>0,038</b>	-0,146	0,459
Left	0,095	0,630	-0,040	0,839	0,194	0,322	-0,014	0,944
Heel	0,059	0,767	0,242	0,214	0,022	0,912	0,263	0,177
manuelle Untersuchung								
	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$	p	$\eta_p^2$
Kapselschwellung	0,022	0,095	0,877	0,000	0,206	0,030	0,776	0,002
AP Vorschub	0,153	0,038	0,625	0,005	0,375	0,015	0,404	0,013

Legende: DJ=Drop Jump, BK-Zeit=Bodenkontaktzeit

In Tabelle 18 zeigt sich zwischen F 2-4 und der BK-Zeit DJ rechts ( $r=0,523$ ) und der BK-Zeit DJ links ( $r=0,466$ ) und Synch und der Sprunghöhe DJ links ( $r=-0,393$ ) ein relevanter Zusammenhang. So haben die Ergebnisse des SpeedCourts kaum einen Zusammenhang mit den Ergebnissen der manuellen Untersuchung und dem IBS. Lediglich im Frequenzbereich 2-4 kann man eine Korrelation und niedrigen Bodenkontaktzeiten im DJ rechts und links finden. Leistungsstärkere Teilnehmer in F2-4 (IBS) hatten eine niedrigere BK-Zeit im Drop Jump. Zwischen Parametern der manuellen Untersuchung und dem Speedcourt fanden sich keine relevanten Effekte (maximal:  $\eta_p^2=0,095$  Kapselschwellung vs. DJ rechts). Teilnehmer ohne Kapselschwellung im DJ rechts sind durchschnittlich höher gesprungen (16,4 cm), als Patienten, die noch eine Schwellung zum MZP 4 zeigten (12,1 cm), jedoch ohne klinisch relevanten Effekt.

#### **4.6 Ergebnisse der apparativen Untersuchungen**

##### **Häufigkeitsverteilung von Parameter der Röntgen- und MRT- Untersuchung**

In Tab. 19 sind die Ergebnisse der Auswertung der Röntgen- und MRT- Bilder zu sehen. Die Bewertung der Röntgenbilder erfolgte direkt an den vorhandenen Bildern von 69 Probanden, die zum MZP 1 aufgenommen wurden. Die Parameter der MRT-Bilder wurden an Hand der radiologischen Beurteilung und derer Auffälligkeiten herausgearbeitet. Die MRT Aufnahmen der 43 Patienten erfolgten ebenfalls primär um den 1. MZP. In den Röntgenaufnahmen fiel besonders die hohe Anzahl des Os Trigonum mit 22% auf. Kein Teilnehmer zeigte eine Osteochondrosis dissecans. In der MRT wiesen besonders viele Probanden einen Erguss (65%), ein Knochenmarködem (60%) und ein Weichteilödem (57%) auf. Lediglich 10% zeigten einen Knorpelschaden, davon war dieser bei 75% degenerativen oder älteren Ursprungs. Das Knochenmarködem zeigte eine große Standortvariabilität. Am häufigsten war der mediale Malleolus und mediale Talus betroffen. Des Weiteren fanden sich Ödeme am lateralen Malleolus, lateralen Talus, ventralen Talus, Calcaneus, Volkmann-Dreieck, an der distalen Tibia, der Fibulaspitze und dem Os Trigonum.



Tab. 19: Häufigkeitsverteilung der Probanden in Bezug auf Parameter der Röntgen- und MRT- Untersuchung zu MZP 1. Gesamtstichprobe: n=79

Röntgen (n=69)			MRT (n=43)		
Parameter		n (%)	Parameter		n (%)
OD medial	ja	0 (0)	Erguss	ja	28 (65)
	nein	69 (100)		nein	15 (35)
OD lateral	ja	0 (0)	Syndesmosendefekt	ja	4 (9)
	nein	69 (100)		nein	39 (91)
talarer Osteophyt	ja	15 (22)	Knochenmarködem	ja	25 (60)
	nein	54 (78)		nein	17 (40)
tibialer Osteophyt	ja	24 (35)	Weichteilödem	ja	25 (57)
	nein	45 (65)		nein	19 (43)
Os Trigonum	ja	15 (22)	Knorpelschaden	ja	4 (10)
	nein	54 (78)		nein	38 (90)
freier Gelenkkörper	ja	13 (19)			
	nein	56 (81)			
MCS	<4 mm	68 (99)			
	>4 mm	1 (1)			
Espace Clair	<5,5 mm	68 (99)			
	>5,5 mm	1 (1)			
Rosenberg	different	69 (100)			
	indiff.	0 (0)			

Legende: OD=Osteochondrosis dissecans, indiff.=indifferent

Bei lediglich 7 Patienten wurde eine gehaltene Röntgenaufnahme angefertigt. Davon zeigten sich bei 6 Patienten ein stabiler und bei lediglich einem ein instabiler anterior-posteriorer Vorschub.

### Röntgen und MRT vs. subjektives Empfinden zu MZP 1 und IBS

Der Chi-Quadrat Test ergab im Bereich Röntgen signifikante Werte zwischen dem Parameter Schmerz und Os Trigonum ( $p=0,001$ , Chi-Quadrat=11,901). Mit dem Parameter Instabilität fand sich keine Signifikanz, das Maximum lag zwischen Instabilität und talaren Osteophyten ( $p=0,070$  und Chi-Quadrat=5,332). Die Parameter der MRT wiesen im Chi-Quadrat Test weder mit dem subjektiven Parameter Schmerz (Maximum:  $p=0,112$ , Chi-Quadrat=2,533 mit Parameter Erguss) noch mit dem Parameter Instabilität (Maximum:  $p=0,433$ , Chi-Quadrat=1,674 mit Parameter Knochenmarködem) eine Signifikanz auf. Ebenfalls zeigte das Auftreten eines Knochenmarködems keine signifikanten Veränderungen in den posturographischen Parametern des IBS (Maximum:  $p=0,089$ ,  $\eta_p^2=0,100$  im Parameter F2-4).

## 5. Diskussion

### 5.1 Ergebnisdiskussion

#### **IBS Ergebnisse im Verlauf und Vergleich mit anderen Assessments**

Die Studie sollte herausfinden, ob das Interaktive Balance System eine gleichwertige Alternative zu den etablierten diagnostischen Assessments (manuelle Untersuchung, Röntgen und MRT) darstellt. Dazu wurden Messwerte über mehrere Zeitpunkte ermittelt und diese im Ergebnisteil mit bekannten Referenzwerten verglichen. So ließ sich (siehe Abb. 16-26) ein Heilungsverlauf graphisch darstellen. In den mittels Fourieranalyse ermittelten Frequenzbereichen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede und es wurden im Verlauf keine Referenzwerte erreicht. Teilweise war ein Leistungsrückgang von MZP 1 zum MZP 4 zu erkennen. Dies würde für eine Schädigung aller abgebildeten Systeme visuell, vestibulär, somatosensorisch und cerebellär sprechen. Da keine Voruntersuchungen der Probanden stattfanden, können bereits bestehende Schädigungen nicht ausgeschlossen werden. Den Referenzwerten liegt die Bestimmung des mittleren Alters zugrunde, welches bei der hier vorhandenen Altersspanne von 14-58 Jahren stark variieren kann. Jedoch lässt sich am Ende jeder Behandlung mittels des abgebildeten Summenscores für jeden Patienten ein direkter Vergleich zu adäquaten Referenzwerten herstellen. In den Parametern Stabilitätsindikator, Gleichgewichtsverteilungsindex und Synchronisation zeigten sich im Verlauf stetige Verbesserungen hin zu den Referenzwerten. Dies spricht für einen fortschreitenden Heilungsverlauf. Es zeigten sich signifikante und relevante Haupteffekte im Parameter Synchronisation ( $p < 0,001$  und  $\eta_p^2 = 0,176$ ), Left- linksseitig Verletzte ( $\eta_p^2 = 0,232$ ) und Left- rechtsseitig Verletzte ( $p < 0,001$  und  $\eta_p^2 = 0,382$ ) (Abb. 22-24). Dabei war in den genannten Parametern ein relevanter Teileffekt zwischen Woche 0 und 3 zu finden (Synch:  $\eta_p^2 = 0,232$ , Left- linksseitig Verletzte:  $\eta_p^2 = 0,234$ , Left- rechtsseitig Verletzte:  $\eta_p^2 = 0,464$ ), sowie bei Left- linksseitig Verletzte zwischen Woche 6 und 12 ( $\eta_p^2 = 0,261$ ) und Left- rechtsseitig Verletzte zwischen Woche 3 und 6 ( $\eta_p^2 = 0,226$ ). Im Parameter mediolaterale Gewichtsverteilung (Left) kann man wie erwartet sehen, dass zum Zeitpunkt der aktuellen Verletzung der betroffene Fuß weniger belastet wird. Bereits ab der 3. Woche werden hier wieder Referenzwerte erreicht und zu Woche 12 wird bei den linksseitig Verletzten der ehemals verletzte Fuß sogar stärker als der unverletzte Fuß belastet. Im Parameter Fersenbelastung ergab sich bis Woche 6 vorerst eine Verbesserung hin zu einer höheren Vorfußbelastung. Im weiteren Verlauf (Woche 12) vergrößerte sich wieder die Fersenbelastung, wobei besonders die rechtsseitig Verletzten keine Referenzwerte erreichen konnten. Der

Rückschritt zur Woche 12 kann darin begründet sein, dass zur Woche 6 die Bandage abgelegt wurde und sich dies negativ auf das Ergebnis des Parameters Heel auswirkte. So kann vermutet werden, dass nach 12 Wochen noch keine vollständige Heilung erfolgte und der Zeitpunkt der Bandagen Abnahme zu Woche 6 noch zu früh ist. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von denen, die auch mit dem IBS durchgeführten Kreuzbandstudie. Auch hier lag ein Weichteilschaden vor, dessen Heilung nach OP mittels IBS verfolgt wurde. Hier zeigte sich eine vermehrte Vorfußbelastung (Bartels et al., 2018, 2019). So wird ersichtlich, wie unterschiedlich sich Verletzungen der Extremitäten auf die Haltung auswirken.

Allgemein ist ein Vergleich von Ergebnissen der hier vorgestellten Untersuchung mit anderen Studien schwierig, da das Messsystem noch nicht für das Sprunggelenk genutzt wurde. Es konnte, wie in anderen Studien auch, eine Veränderung des posturalen Systems nach Verletzung gezeigt werden, wie bereits Freeman et al. (1965) vermuteten. So zeigten auch Tropp et al. (1985) durch die Stabilometrie, dass Koordination und posturale Kontrolle wichtig für die funktionelle Instabilität des Knöchels sind. Wikstrom et al. (2010) konnten in einer Metaanalyse zeigen, dass das bilaterale Gleichgewicht nach einer Knöchelverletzung beeinträchtigt ist.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie ließen sich mit dem subjektiven Empfinden der Probanden korrelieren. Es fanden sich relevante Veränderungen zwischen Schmerzangabe und den posturographischen Parametern zum MZP 4 (F1, F2-4). Zwischen der abhängigen Variable „Instabilität“ und den posturographischen Parametern zeigten sich keine relevanten Effekte. Die Frequenzbereiche sind assoziiert mit posturalen Subsystemen (F1: visuelles und nigrostriales System, F2-4: peripheres- vestibuläres System, F5-6: Somatosensorisches System, F7-8: Cerebelläres System), was auf Erkenntnissen zahlreicher Validierungsstudien basiert (Oppenheim et al., 1999; Fukuoka et al., 2001; Schwartz et al., 2005; Friedrich et al., 2008; Schwesig et al., 2009a). So zeigte sich hier im Parameter Schmerz in F1 und F2-4 und somit im visuellen- nigrostrialen sowie peripher- vestibulären System ein Zusammenhang. Es wird deutlich, dass ein Schaden der Propriozeption, der Teil des somatosensorischen Subsystems ist, auch Auswirkungen auf das Empfinden der Probanden hat. Patienten, die Schmerzen bei Belastung angaben, haben eine relevant beeinträchtigte Somatosensorik im Vergleich zu Teilnehmern ohne Schmerz. Es bestätigt sich einmal mehr, dass das Gefühl des Patienten nicht trügt, aber auch, dass das IBS dies zum Teil erfassen kann. Im Verlauf konnten allerdings festgestellt werden, dass im somatosensorischen Subsystem kaum eine Verbesserung und Annäherung der Werte an den Median der Referenzgruppe erreicht wurde (Abb. 18).

Im Zusammenhang mit dem AP Vorschub der manuellen Untersuchung fanden sich keine relevanten Effekte. Hier zeigte sich im Verlauf, dass die Fersenbelastung bei Probanden mit lockerem Schub höher ist, als bei Teilnehmern mit festem Schub, jedoch ohne klinische Relevanz. Im Durchschnitt zeigten Patienten mit festem Schub eine höhere Leistungsfähigkeit in den posturographischen Parametern. Auch im Parameter lateraler Schub zeigten sich keine relevanten Effekte. Von allen posturographischen Parametern wies der Parameter Heel den größten Zusammenhang in der Korrelation mit dem subjektiven Empfinden und der manuellen Untersuchung auf. Bei Teilnehmern ohne Schmerz und festem lateralen und AP Schub ergab sich in Korrelation des Parameters Heel mit dem subjektiven Schmerz (MZP 2:  $\eta_p^2=0,084$ ), dem vorderen Schublagentest (MZP 3:  $\eta_p^2=0,069$ ) und dem lateralen Schub (MZP 1:  $\eta_p^2=0,091$ ) eine größere Vorfußbelastung. Man kann vermuten, dass Patienten mit einer Instabilität die Ferse mehr belasten und Probanden mit zunehmender Heilung den Ballen. Dies ließ sich jedoch nicht durch klinisch relevante Effekte verdeutlichen. In anderen Studien wurde die Belastung zwischen Vor- und Rückfuß zum Großteil nicht verglichen und die Messungen meist während des Gehens vorgenommen. So zeigten Morrison et al. (2010), dass Patienten mit chronischer Instabilität nach Distorsion im Vergleich zu den Gruppen ohne Verstauchung und nach Verstauchung ohne chronische Instabilität während eines Barfußlaufs eine lateralere Fußpositionierung und ein stärkeres laterales Belastungsmuster aufweisen. Auch Kros et al. (2016) fanden eine verstärkte laterale Belastung des verletzten Knöchels bei Belastung. In beiden Fällen wird jedoch keine Angabe zu einer vermehrten Rückfußbelastung im Vergleich zu Referenzwerten gemacht. Milford et al. (2016) verglichen die Barfuß- und Fußsohlen-Druckverteilung zwischen Teilnehmern mit einer kürzlich stattgehabten Distorsion und unverletzten Kontrollen. Dabei fanden die Autoren für die Druckverhältnisse im Vorder- und Hinterfuß keine Unterschiede zwischen den Verletzten und den Kontrollgruppen, während man barfuß oder in Schuhen ging. Dies widerspricht den hier vorgestellten im Stand gemessenen Ergebnissen.

In Korrelation des IBS mit dem SpeedCourt fanden sich bei Parametern des Drop Jump Zusammenhänge. So haben im Parameter F2-4 leistungsfähigere Probanden auch eine kurze Bodenkontaktzeit im DJ rechts und links. Da dieser Frequenzbereich stellvertretend für das peripher-vestibuläre posturale Subsystem steht, kann ein leistungsfähigeres vestibuläres System für einen sichereren und schnelleren einbeinigen DJ sorgen. Im Parameter Synchronisation fand sich eine negative Korrelation. Probanden mit einer hohen Synchronisation haben im DJ links eine niedrigere Sprunghöhe.

## **Subjektives Empfinden und Fragebögen**

Durch Erfassung des subjektiven Empfindens konnte der Heilungsverlauf gut nachvollzogen werden. In Abbildung 27 und 28 ist dies graphisch zu erkennen. Hier ist auch zu sehen, dass die Heilung nach 12 Wochen Therapie scheinbar noch nicht abgeschlossen ist, da zu Messzeitpunkt 4 noch 33% Schmerzen und 21% eine Instabilität angegeben haben. Eiff et al. (1994) bewertete ebenfalls das subjektive Empfinden des Knöchelnachgebens nach einer akuten Sprunggelenksdistorsion mit Bandverletzung. Dabei gaben 22% der Teilnehmer nach 3 Wochen, 19% nach 6 Wochen, 14% nach 3 Monaten, 8% nach 6 Monaten und 3% nach 1 Jahr noch ein Instabilitätsgefühl an (Eiff et al., 1994). In der Studie von van Middelkopp et al. (2012) berichteten nach 3 Monaten sogar 65% der Teilnehmer von einer Instabilität und 24% von einer oder mehreren erneuten Verstauchungen. Bei der Nachuntersuchung nach 12 Monaten fanden die Autoren noch zu 55% eine Instabilität (Van Middelkoop et al., 2012). In einem Review von van Rijn et al. (2008) ergab sich nach den ersten 2 Wochen ein rascher Rückgang der Schmerzberichterstattung. Nach einem Jahr hatten 5% bis 33% der Patienten immer noch Schmerzen, während 36% bis 85% innerhalb von drei Jahren eine vollständige Genesung angaben. Die subjektive Instabilität zeigte sehr unterschiedliche Ergebnisse und reichte von 0% bis 33% in den qualitativ hochwertigen Studien und von 7% bis 53% in den weniger aussagekräftigen Studien (Rijn et al., 2008). So weichen die Instabilitätsangaben in den Studien weit voneinander ab. In der hier vorgestellten Untersuchung ordnen sich die Probanden mit Instabilität nach 3 Monaten mit 21% im Mittelfeld ein. Erneute Befragungen nach 1 Jahr oder 2 Jahren könnten den Verlauf weiter dokumentieren. Eine Beobachtungsstudie von Konradsen et al. (2002) mit 648 Personen zeigte, dass nach 7 Jahren noch 32% über chronische Beschwerden, wie Schmerz, Schwellung oder erneute Verstauchungen berichteten. Vergleichbare Ergebnisse brachte die Studie von Kemler et al. (2016) hervor, in der bei einem Follow-Up ca. 204 Wochen nach Verletzung 30% der Teilnehmer noch Schmerzen angegeben haben. Auch in Bezug auf die Schmerzsymptomatik ist eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse dieser Arbeit mit der Literatur zu erkennen, da die Probanden mit 33% ähnlich oft Schmerzen (in Ruhe und in Belastung) aufwiesen. Es muss beobachtet werden, ob sich dieses Ergebnis im Verlauf über mehrere Jahre verändert.

Die Auswertung des Foot and Ankle Outcome Score's ergab durchschnittlich im Bereich Schmerz 85 Punkte, Symptome 79 Punkte, Aktivität des alltäglichen Lebens 93, Aktivität in Sport und Freizeit 77 Punkte und im Bereich Lebensqualität 67 Punkte. Insgesamt zeigten sich gute Werte. Die größte Auswirkung der Sprunggelenksverletzung verspürten die Probanden im Bereich der Lebensqualität.

Hier ging es um die Fragen, wie oft man sich der Sprunggelenksprobleme bewusst ist, ob man seine Lebensweise verändert, um schadende Tätigkeiten zu vermeiden, wie groß das Vertrauen in das verletzte Gelenk ist und wie die Patienten ihre Schwierigkeiten mit dem Gelenk bewerten. Es wird deutlich, dass auch nach 12 Wochen die Verletzung im Leben der Probanden eine bedeutende Rolle spielt und diese sie trotz Behandlung weiterhin in ihrer Lebensqualität einschränkt. Es fehlen allerdings Vergleichswerte der Studienteilnehmer für eine endgültige Beurteilung. In der Studie von van Bergen et al. ergaben sich für den FAOS als deutsche Übersetzung eine sehr gute Test-Retest-Reliabilität und interne Konsistenz jeder Subskala (Intraklassenkorrelationskoeffizient 0,88-0,95; Cronbachs  $\alpha$ , 0,94-0,98). Sie bewerteten die deutsche Version als ein zuverlässiges und valides Instrument für den Einsatz bei Fuß- und Knöchelpatienten (Van Bergen et al., 2014). Auch Ross et al. (2001) überprüften die Validität des Tests bei Probanden mit rekonstruierten Sprunggelenksbändern. Dabei kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass der Fragebogen die festgelegten Kriterien der Gültigkeit und Zuverlässigkeit erfüllt. Jedoch wurde bisher keine Studie zum Nutzen des FAOS bei Sprunggelenksdistorsion durchgeführt. So fanden sich in der PubMed Suche keine relevanten Ergebnisse mit den Suchbegriffen: „Foot and Ankle Outcomescore (FAOS), ankle sprain, ankle ligament injury“. In Korrelation mit den posturographischen Ergebnissen zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge. Patienten mit einer Beeinträchtigung in der Lebensqualität erbrachten deutlich niedrigere Punktwerte als jene ohne Instabilität, jedoch ohne klinisch relevanten Effekt (Tab. 9). Dieser Bereich entspricht auch dem niedrigsten FAOS Ergebnis der Studienteilnehmer.

Innerhalb des SF-12 erreichten die Probanden in der Gesamtskala 78,4, in der körperlichen Summenskala 80,5 und in der psychischen Summenskala 77,0 Punkte. So erreichte die körperliche Skala die „höchsten“ Werte, obwohl diese theoretisch am meisten durch die Verletzung beeinflusst werden sollte. In die Ergebnisse des SF-12 fließen auch der allgemeine Gesundheitszustand und somit andere Erkrankungen und körperliche Leiden mit ein.

### **Manuelle Untersuchung**

Auch in der manuellen Untersuchung lässt sich der Heilungsverlauf über die 4 Messzeitpunkte verfolgen. Es wurde nach 12 Wochen in den Tests: Frick-Test, Peronealanspanntest, proximal tibiofibularer Druckschmerz und Syndesmosen Druckschmerz bei keinem Probanden ein positives Ergebnis festgestellt. Im Parameter lateraler Schub stagnierte das Ergebnis ab dem MZP 3 mit 6 Patienten, die eine Lockerung aufwiesen. Jedoch waren hier zum MZP 4 nicht zwingend die gleichen

Teilnehmer betroffen. Besonders hohe Zahlen fanden sich nach 12 Wochen bei der Kapselschwellung mit  $n=18$ , im anterolateralen DS  $n=12$  und im medialen DS  $n=9$  von 64 ausgewerteten Personen. In allen anderen Parametern wurde eine positive Wertung bei  $\leq 6$  Probanden gefunden. Auch Anandacoomarasamy und Barnsley (2005) stellten in ihrer Studie fest, dass 74% der Teilnehmer nach 1,5- 4 Jahren nach Verletzung des Sprunggelenks noch Residualsymptome zeigten. Davon gaben noch 37% eine Schwellung an (Anandacoomarasamy und Barnsley, 2005).

Signifikante Zusammenhänge zeigte der Chi-Quadrat-Test zwischen Schmerzangabe der Probanden zu den Messzeitpunkten 1 und 4 und den Tests der manuellen Untersuchung. Zu MZP 1 gab es einen Zusammenhang zwischen Schmerz und Dorsalextension, Plantarflexion und Druckschmerz medial. Zum MZP 4 korrelierten Schmerz und Kapselschwellung sowie Druckschmerz anterolateral. In Verbindung mit der subjektiv empfundenen Instabilität fanden sich im Chi-Quadrat Test signifikante Zusammenhänge zu MZP 1 mit Druckschmerz medial und zu MZP 4 mit Kapselschwellung, Druckschmerz anterolateral und Druckschmerz medial. Auch hier fand sich keine Signifikanz zwischen der subjektiven Instabilitätsangabe und dem anterior- posterioren und lateralen Schub. So konnten die beiden Tests in der hier vorgestellten Untersuchung nicht das Empfinden der Patienten wiedergeben. Auch Croy et al. (2013) zeigten in ihrer Studie, dass der vordere Schublagentest eine begrenzte Fähigkeit bietet, übermäßige anteriore talokrurale Gelenklaxität zu erkennen. Den Autoren zufolge kann er jedoch hilfreiche Informationen liefern, wenn er beim Vergleichen von beiden Sprunggelenken und in Verbindung mit anderen körperlichen Untersuchungsverfahren wie Palpation verwendet wird. In Leichenstudien von Phisitkul et. al. (2009) und Vaseenon et al. (2012) zeigte sich allerdings, dass sowohl der vordere und auch der anterolaterale Schublagentest eine hohe Spezifität und Sensivität aufweisen, auch wenn diese von unerfahrenen Untersuchern durchgeführt werden. Nach diesen Studien dürfte sich die geringe Erfahrung, die Studenten bei der manuellen Untersuchung haben, nicht auf die hier vorgestellten Ergebnisse auswirken. Probanden der hier vorgestellten Untersuchung wiesen zum Zeitpunkt der Verletzung zu 76% einen lockeren AP Vorschub auf, nach 3 Wochen zu 24%, nach 6 Wochen zu 16% und nach 12 Wochen noch zu 9%. So ermittelte die Studie ähnliche bis gering schlechtere Werte, als sie z. B. Avci und Sayli (1998) erhoben. Sie berichteten, dass bei ihren Teilnehmern nach 2 Wochen noch zu 30% und nach 6 Wochen noch zu 11% ein positiver vorderer Schublagentest nachweisbar war (Avci und Sayli, 1998). Die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie legen nahe, dass Teilnehmer mit einem Schmerzgefühl zu MZP 1 besonders in Dorsalextension und Plantarflexion eingeschränkt waren und einen medialen

Druckschmerz aufwiesen. Dies lässt sich eventuell auf den zur Verletzung geschwellenen und nur schmerzhaft beweglichen Knöchel zurückführen, wodurch die Tests Dorsalextension und Plantarflexion nur schwierig durchführbar waren. Zu MZP 4 hingegen hatten Patienten mit Schmerzgefühl besonders oft eine Kapselschwellung und einen anterolateralen Druckschmerz. Dieser Effekt wird hauptsächlich dadurch beeinflusst, dass Probanden ohne Schmerzen zu 82% auch keine Kapselschwellung und anterolateralen Druckschmerz mehr zeigten. Teilnehmer mit Instabilitätsgefühl zum MZP 4 wiesen besonders häufig eine Kapselschwellung und einen Druckschmerz anterolateral und medial auf. Davon hatten allerdings Patienten mit Instabilität und Umknicken keinerlei Probleme, so wird der Effekt auch durch die hohe Zahl der Probanden, die keine Instabilität und auch keine Kapselschwellung und keinen DS medial und anterolateral zeigten, beeinflusst.

### **BESS Score**

Die Teilnehmer landeten im Durchschnitt mit einem Score von  $10,4 \pm 3,99$  in ihrer Altersgruppe im weitestgehend normalen Bereich und erzielten so sehr gute Ergebnisse. Docherty et al. (2006) belegten mit den Ergebnissen in ihrer Studie, dass der BESS, der traditionell zur Überwachung der Erholung von leichten Kopfverletzungen verwendet wird, auch beim Screening von Athleten auf posturale Defizite nach einer Verletzung der unteren Extremität nützlich sein kann. Sie untersuchten Patienten mit funktioneller Instabilität und identifizierten mit dem BESS Kontrolldefizite. So ergab sich ein signifikant höherer Score bei verletzten Probanden ( $15,7 \pm 6,0$  versus  $10,7 \pm 3,2$ ) (Docherty et al., 2006). Auch die Studie von Vikram et al. (2012) ergab, dass Athleten mit Knöchelverletzung in der Vorgeschichte signifikant ( $p=0,01$ ) mehr Fehler beim BESS ( $15,1 \pm 6,52$ ) machten als die Kontrollgruppe ( $5,63 \pm 3,81$ ). In der hier vorgestellten Untersuchung kann diesem Sachverhalt trotz der allgemein guten Ergebnisse zugestimmt werden. Teilnehmer, die zum MZP 4 eine Instabilität mit Umknicken ( $n=2$ ) angegeben haben, erreichten mit  $14 \pm 2$  schlechtere Werte, als Probanden mit Instabilität ohne Umknicken ( $n=8$ ) mit  $10,3 \pm 4,8$  und Probanden ohne Instabilität ( $n=47$ ) mit  $10,3 \pm 3,8$ . Die Gruppenverteilung in der Studie ist dabei sehr ungleich. Die Score Ergebnisse zeigten keine relevante Korrelation mit den posturographischen Parametern.

### **SpeedCourt**

Mit dem SpeedCourt erfolgte die Messung des Tappings und des Drop Jumps. Die Bodenkontaktzeit sollte nicht über 200 ms liegen (Güllich und Schmidtbleicher, 1999). Das ist bei den Probanden der hier vorgestellten Studie im Mittelwert jedoch



nicht der Fall. Die Teilnehmergruppe bestand aber nicht nur aus Sportlern und der Sprung wurde vorher nicht mehrmals geübt. Doherty et al. (2014) berichteten, dass Teilnehmer mit akuter lateraler Distorsion eine möglicherweise abweichende Koordinationsstrategie während eines Drop-Vertikal-Jump hatten, die sich in einer erhöhten Abhängigkeit von der nicht verletzten Extremität zeigte. Weitere Untersuchungen von Probanden 6 Monate nach akuter lateraler Distorsion ergaben, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Sprunghöhe zwischen Verletzten und Kontrollen gab (Doherty et al., 2015). In den Ergebnissen dieser Studie ließ sich eine negative signifikante Korrelation zwischen dem posturographischen Parameter Synch und der Sprunghöhe finden. So beeinflusst die Distorsion die Sprunghöhe wahrscheinlich nicht. Jedoch konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Parameter F2-4 und der Bodenkontaktzeit des Drop Jump rechts und links festgestellt werden. Das hier betroffene peripher-vestibuläre System scheint Einfluss darauf zu haben, wie schnell die Probanden nach der Landung wieder abspringen können.

### **Röntgen und MRT**

In den apparativen Untersuchungen zeigte kein Proband eine Osteochondrosis dissecans. Dagegen wiesen 22% talare und 35% tibiale Osteophyten im Röntgen auf. Dies ist als Arthrosezeichen zu sehen und wahrscheinlich darin begründet, dass viele der untersuchten Probanden sportlich sehr aktiv sind und ein Großteil auch professionell, vor allem Fußball betreibt oder betrieben hat. Über die Ursache des sogenannten Soccer Ankle herrscht noch Uneinigkeit, 2 Hypothesen rücken jedoch in den Vordergrund. Einmal gelten die repetitiven maximalen Plantarflexions- oder Dorsalextensionbewegungen während des Schusses und so entstehende Kapselschäden als Ursache. Als weiterer ursächlicher Mechanismus wird der direkte Ballanprall und die somit entstehenden Mikrotraumen am Knorpel beschrieben. Als Folge entsteht eine Entzündung mit anschließender Narben- und daraus folgender Osteophytenbildung (Geronikolakis et al., 2015; Tol et al., 2002). Das Soccer Ankle führt zur Einschränkung der Dorsalextension, chronischen Gelenkschmerzen und rezidivierenden Gelenkergüssen (Walcher et al., 2010). In der hier vorgestellten Studie zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge in der Korrelation der Osteophyten mit dem subjektiv empfundenen Schmerz und der empfundenen Instabilität (größter Zusammenhang: talare Osteophyten & Instabilität:  $p=0,070$ , Chi-Quadrat=11,901). Dagegen ergaben sich signifikante Werte zwischen der Schmerzangabe und dem Vorhandensein eines Os Trigonum mit  $p=0,001$  und Chi-Quadrat=11,901. So hatten zum MZP 1 von 64 Probanden 4 Schmerzen in Ruhe und 11 einen Belastungsschmerz, die im Röntgen ein OS Trigonum aufwiesen. Die Gruppe der

Patienten ohne Schmerzen war mit lediglich 2 Probanden zum MZP 1 nicht für eine suffiziente statistische Auswertung geeignet.

Dieses Ergebnis könnte auf das bei Fußballern und Balletttänzern bekannte Os Trigonum-Syndrom hinweisen. Es entsteht durch Überbeanspruchung des hinteren Knöchels durch wiederholte Plantarflexion und geht mit verstärkten hinteren Knöchelschmerzen einher (Nault et al., 2014). Das Os Trigonum ist bei 22% der Probanden gefunden worden, was eine hohe Anzahl darstellt. In einer radiologischen Studie zu akzessorischen Knochen am Fuß- und Sprunggelenk wurden 3.460 Röntgenaufnahmen von Patienten über 7 Jahren untersucht und bei 13% ein Os Trigonum gefunden (Tsuruta et al., 1981).

Eine gehaltene Röntgenaufnahme wurde nur in Ausnahmefällen genutzt, um bestehende Schwierigkeiten nach der 12. Woche und die Instabilität bei einem in der manuellen Untersuchung lockeren AP Vorschub oder lateralen Aufklappbarkeit abzuklären. Lediglich bei einem Probanden war eine radiologisch objektivierbare Instabilität sichtbar.

In der MRT zeigte sich vor allem ein Erguss (65%), ein Knochenmarködem (60%) und ein Weichteilödem (57%), jedoch kein signifikanter Zusammenhang mit der Schmerz- und Instabilitätsangabe. Die MRT Diagnostik führte in der hier vorgestellten Studie zu keiner Änderung des Therapieschemas. Der Verdacht einer Bandläsion, welcher bereits bei der manuellen Untersuchung bestand, wurde bestätigt. Bei 5 Probanden wurde zu einem späteren Zeitpunkt eine weitere MRT durchgeführt. Bei allen war eine Heilung laut Radiologie sichtbar. Die MRT zeigte ebenfalls einen Heilungsverlauf. Auch Grebe et al. (1995) trafen in ihrer Studie mit 35 Probanden die Aussage, dass die MRT zur Diagnostik geeignet ist und die Ausheilung darstellen kann. Die MRT gilt durch fehlende Strahlenbelastung oft gerade für Kinder als diagnostisches Mittel der Wahl. Endele et al. (2012) fanden für Kinder mit akuter Sprunggelenksdistorsion jedoch keinen therapeutischen Wert der MRT für die Behandlung und sahen die konventionelle klinische, radiologische und sonographische Diagnostik als ausreichend an. Polzer et al. (2012) entwickelten in ihrer Studie durch Literaturrecherche einen Behandlungsalgorithmus für Bandverletzungen des Sprunggelenks. Sie trafen ebenfalls die Aussage, dass die MRT eine hohe Empfindlichkeit in der Diagnostik zeigt, jedoch aufgrund von hohen Kosten, schlechter Verfügbarkeit und der Häufigkeit der Verletzung besser den Komplikationen vorbehalten sein sollte. Das sind z. B. anhaltende Symptome, Anzeichen einer Syndesmoseverletzung, chronische Instabilität des Knöchels oder der Verdacht auf osteochondrale Läsionen und okkulte Frakturen (Polzer et al., 2012). Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen die vorgestellten Befunde. So gab es keine Konsequenz für die Therapie nach der MRT und sie war

lediglich zur Diagnosesicherung von Nutzen. Da die Probanden aber mit klinischen Symptomen die Praxis aufsuchen und eine MRT meist erst zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist, würde eine Behandlung erfolgen, auch wenn sich in der MRT später keine Bandverletzung zeigt. Trotz der großen Häufigkeit von Knochenmarködemen, Weichteilödemen und Ergüssen gab es keinen signifikanten Zusammenhang mit dem empfundenen Schmerz und der Instabilität der Probanden. Auch wirkte sich das Vorhandensein eines Knochenmarködems nicht auf die posturographischen Parameter aus. So stellen diese Diagnosen lediglich einen radiologischen Parameter ohne klinische Relevanz auf das subjektive Empfinden der Patienten dar.

### **Fazit für die Diagnostik**

Wie bereits erwähnt, war es Ziel der Studie, klinisch-apparative Assessments der Diagnostik von Sprunggelenksdistorsionen mit Bandverletzungen im Heilungsverlauf zu vergleichen und insbesondere das IBS als neues Tool zu bewerten. In der Literatur finden sich viele, auch widersprüchliche Meinungen zur geeignetsten Diagnostik. Im Alltag haben die von der Leitlinie präferierten diagnostischen Mittel wohl die höchste Relevanz. Trotz des technischen Fortschritts sind die Anamnese, das Gefühl der Patienten und die klinische Untersuchung weiterhin von großer Bedeutung. In der hier vorgestellten Studie war es so möglich den Heilungsverlauf nachzuverfolgen. Über den Zeitpunkt der manuellen Untersuchung herrscht jedoch Uneinigkeit, da viele Patienten in der akuten Verletzung unter starken Schmerzen leiden und durch Schwellung die Aussagekraft eingeschränkt ist. In einer Studie von van Dijk et al. (1996a) wurden von Untersuchern mit begrenzter Erfahrung genauere Ergebnisse 5 Tage nach der Verletzung, als innerhalb von 48h erzielt und die Untersuchung bereitete den Patienten weniger Unbehagen. Eine weitere Studie, in die 160 Probanden mit Inversionstrauma eingeschlossen wurden, die eine körperliche Untersuchung innerhalb von 2 und 5 Tage nach Trauma, eine Arthrographie, eine Belastungsradiographie und eine Sonographie erhielten, ergab für die 5-Tage-Untersuchung die höchste Gesamtsensitivität (96%) und Spezifität (84%) für den Nachweis eines Bänderrisses. Durch andere Diagnostikverfahren zeigten sich kaum explizite Informationen (van Dijk et al., 1996b). In den Leitlinien wird jedoch zu bedenken gegeben, dass die Belastung der Bänder durch die Untersuchung zu späteren Zeitpunkten im Gegensatz zur akuten Untersuchung negativ in die Heilungsvorgänge eingreifen kann (Wolfe et al., 2001; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 2017). In der hier vorgestellten Untersuchung wurde dies nicht beobachtet. Es sollte aber bedacht werden. Das IBS stellt eine gute Alternative dar, da es nicht aktiv an den Bandstrukturen angreift. Es

kann allerdings die Standarddiagnostik nur ergänzen, nicht ersetzen. Zur Diagnosestellung werden weiterhin manuelle Untersuchung und andere apparative Assessments nötig sein. Als Standard wird auch weiterhin eine Röntgenaufnahme zum Frakturausschluss stattfinden. Die „Ottawa Ankle Rules“ könnten vor allem bei Kindern eine Alternative darstellen, wenn diese regelmäßig genutzt und geübt werden. Bisher sind diese in Deutschland noch nicht weit verbreitet. Im Gegensatz zum Röntgen entsteht dem Patienten durch die IBS Messung kein Schaden und sie kann daher zur Beobachtung des Heilungsverlaufes so oft wie nötig genutzt werden. Das IBS kann ohne ein invasives Eingreifen in einem überschaubaren Zeitraum von ca. 10 Minuten erfolgen. Ein weiterer Vorteil des IBS ist, dass zur Messung kein Arzt anwesend sein muss und es von angeleitetem Personal durchgeführt werden kann. Die Auswertung, welche direkt über den „Summary Report“ erfolgen kann, lässt sich schnell überblicken und es können ohne Zeitverlust Behandlungsstrategien angepasst werden. Das Gerät ist durch den einfachen Aufbau, bestehend aus den 2 Messplatten und einem Laptop, einfach zu transportieren und kann so an unterschiedlichen Orten platzsparend eingerichtet werden. Des Weiteren kann das System die Haltung über die gesamte Lebensspanne analysieren (Schwesig et al., 2006). Außerdem berichtet der Hersteller, dass Kinder ab 4 Jahre und auch autistische Kinder sich gut untersuchen lassen. Da sich die Sportklinik Halle besonders auf aktive Sportler spezialisiert hat, die größtenteils in der hauseigenen Physiotherapie behandelt und trainiert werden, hat sich das IBS als gutes Mittel zur Diagnostik und Bewertung der posturalen Kontrolle bereits bewährt. Schwesig et al. (2009b) zeigten, dass das System sich eignet, die unterschiedlichen Gleichgewichtsanforderungen verschiedener Sportarten zu quantifizieren. Es wurde versucht, dies auf die hier vorgestellte Thematik Sprunggelenksdistorsion mit Bandverletzung zu übertragen. Das IBS hat sich in dieser Studie als diagnostisches Tool zur Beobachtung des Heilungsverlaufs bewährt, wenn auch nicht zur Diagnosestellung. So konnte man über die Zeit eine Verbesserung der posturalen Kontrolle und Stabilität beobachten oder erkennen, wenn dies ausblieb. Der Parameter Heel zeigte von allen posturographischen Parametern die „größte“ Korrelation mit der Schmerzangabe, dem AP Vorschub sowie der lateralen Aufklappbarkeit, jedoch ohne klinische Relevanz. Durch das IBS war es möglich, zu erkennen, dass nicht in allen Parametern nach 12 Wochen Referenzwerte erreicht wurden. Dies ist sehr bedeutsam, um den Zeitpunkt einer Rückkehr in den Sport zu bestimmen und keine erneute Verletzung zu riskieren. Es bestätigt die Vermutung, dass einmal das posturale System von der Verletzung betroffen ist, aber auch, dass der Heilungsverlauf eine große Zeitspanne beansprucht. Bei subjektiver Beschwerdefreiheit kann weiterhin ein Schaden vorliegen und sich die Gefahr für eine

erneute Verletzung erhöhen. Der Nutzen des IBS für die Sprunggelenksdistorsion hat sich hier bestätigt. Es zeigt sich aber auch, dass nach 12 Wochen noch keine endgültige Aussage zu den Ergebnissen getroffen werden kann. Dazu wäre ein Follow-Up zu einem späteren Zeitpunkt, z. B. nach 1 Jahr nötig, um festzustellen, wann alle Referenzwerte erreicht werden können oder ob die posturographischen Parameter weiter Defizite zeigen. Außerdem wäre es sinnvoll, Werte vor und nach der Verletzung aufzunehmen, um diese zu vergleichen. In einer weiteren Arbeit soll festgestellt werden, ob die Ergebnisse durch spezifisches Balancetraining verbessert werden können.

Der Sporttest konnte im Zusammenspiel mit dem IBS nicht wie erhofft einen Ausblick auf die sportliche Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit geben. So konnten zwar im IBS und den Sporttests zu Woche 12 weitere Defizite festgestellt werden, jedoch stimmten diese nicht immer mit dem subjektiven Empfinden überein und es ließen sich keine direkten Konsequenzen für die Behandlung ableiten. Die Sporttests können einzeln ausgewertet werden und so eine Tendenz abgeben. Für eine abschließende Aussage müsste jedoch ein Algorithmus entwickelt werden, ab wann man von einer sportlichen Tauglichkeit sprechen kann, auch wenn die posturographischen Parameter eine andere Aussage treffen.

Der immer mehr an Bedeutung gewinnende Ultraschall als diagnostisches Assessment wurde nicht in die Studie aufgenommen. Dennoch muss man ihn erwähnen. So konnten Cho et al. (2016) in ihrer Studie mit 28 Probanden zeigen, dass der Stress-Ultraschall zusätzlich zum vorderen Schublidentest und der Stress-Röntgenaufnahme für die Diagnose einer chronischen Sprunggelenkinstabilität nützlich sein kann. Auch Milz et al. (1998) verglichen in einer Studie mit 20 Patienten, ob die Sonographie eine Bandruptur am Sprunggelenk so genau wie eine MRT Aufnahme erkennt. Sie kamen zu dem Schluss, dass es auch durch Ultraschall möglich ist, intakte und verletzte Bänder voneinander zu unterscheiden. In der hier vorgestellten Studie wurde sich gegen die Sonographie entschieden, da diese stark vom Untersucher abhängig ist und nur mit Erfahrung angewandt werden sollte. Diese ist bei studentischen Untersuchungsleitern noch nicht vorhanden.

Der Ultraschall kann zwar schnell und flächendeckend zur Diagnostik, besonders auch für Kinder genutzt werden, dennoch sollten erst genaue Kenntnisse in Kursen erworben werden (Gaulrapp, 2015).

## 5.2 Limitation der Arbeit – Methodendiskussion

Im Allgemeinen ist eine prospektive Längsschnittstudie abhängig von der Mitarbeit der Probanden. Um eine relativ gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die Studiengruppen zu erzielen und den zeitlichen Rahmen einzuhalten, wurden keine Randomisierung und keine Verblindung vorgenommen. Das kann zu einer Bias-Verzerrung der Studienergebnisse führen. Da die Probanden nicht ständig zur Verfügung standen, kann es eine Variabilität geben, zu welchen Zeitpunkten die Messungen stattfanden. Diese überschritten aber fast nie 1 Woche. Durch den zeitlichen Aufwand ist auch der Verlust von Teilnehmern zur 12. Woche zu erklären. Es kann gemutmaßt werden, dass Patienten mit weniger komplizierten Distorsionen aufgrund schneller Besserung den letzten Untersuchungen fernblieben und Probanden mit komplizierten Fällen an allen Messzeiten teilnahmen. Das könnte zu einer Verfälschung der Messergebnisse geführt haben. Eine weitere Limitation könnte der Grad der Verletzung sein. Es wurde zur Aufnahme festgelegt, dass es sich um eine Bandruptur handeln sollte. Allerdings erfolgte nicht bei jedem Patienten eine MRT zur Überprüfung der Diagnose aus der manuellen Untersuchung. Es ist möglich, dass die Probanden einen unterschiedlich schweren Grad der Verletzung hatten, was zu einer Beeinträchtigung der Messergebnisse geführt haben könnte. Die Therapie erfolgte immer nach dem gleichen Behandlungsschema: 5 Wochen Bandage und je nach Gruppe Physiotherapie. Es kann aber nicht kontrolliert werden, mit welcher Konsequenz die Bandage getragen wurde. Auch die Anzahl der Physiotherapien variiert zwischen den Probanden und wurde nicht von jedem gleich angenommen. Die Art und Durchführung der Krankengymnastik kann sich außerdem unterscheiden, da nicht alle Teilnehmer in der hauseigenen Physiotherapie behandelt werden konnten. Dies könnte den Heilungsverlauf der Patienten und damit auch die Ergebnisse beeinflusst haben, war jedoch im Alltag nicht anders umsetzbar.

Die manuelle Untersuchung stellte ein wichtiges diagnostisches Tool dieser Arbeit dar. Studenten wurden angelernt und führten die Untersuchung anschließend zu MZP 2 und 3 selbstständig durch. Die fehlende Routine, aber auch die Zunahme an Erfahrung, könnten die Ergebnisse beeinflusst haben. Die entscheidenden Untersuchungen wurden aber zu MZP 1 und 4 immer durch einen erfahrenen Arzt durchgeführt oder kontrolliert.

Die Auswertung der Röntgenbilder und radiologischen Beurteilungen der MRT-Bilder erfolgte mit Unterstützung der Sportklinik Halle (Dr. med. K. Brehme). Jedoch konnten nicht alle Röntgenbilder der Patienten ausgewertet werden, da diese teilweise in anderen Krankenhäusern aufgenommen wurden und eine Aushändigung einer CD nicht möglich war. So können fehlende Röntgenaufnahmen die Ergebnisse beeinflusst

haben. Die MRT wurde nicht bei allen Patienten durchgeführt, jedoch lagen die Befunde aller stattgefundenen MRT's vor.

Im Mittelpunkt der Studie stand das Interaktive Balance System. Es sollte stets in einem ruhigen Raum, unter Beachtung der Position der Probanden, genutzt werden. Dies stellt eine potentielle Fehlerquelle dar, da es nicht immer möglich war, die Probanden von Umgebungsgeräuschen komplett abzuschirmen. Zum Messzeitpunkt 1 kam es zeitweilig zu Gewichtsfehlermeldungen, da die Teilnehmer im akuten Schmerz den verletzten Fuß entlasteten. Dies betraf aber nur den Wert des Gewichtes. Im Allgemeinen ist das IBS ein sehr fehlerarmes Messinstrument, da es nicht durch das Können und Wissen des Untersuchers beeinflussbar ist (Schwesig et al., 2014a, 2014b, 2017).

Der Abschlusstest bestand aus bereits erprobten Fragebögen (FAOS, SF-12), dem BESS- Score sowie der Drop Jump- und Tapping- Messung auf dem SpeedCourt. Die Verfahren wurden bereits in anderen Studien validiert. Die Nutzung der Fragebögen zu mehreren Messzeitpunkten wäre eine sinnvolle Erweiterung und könnte eine höhere Aussagekraft zum Heilungsverlauf liefern. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes in der Praxis war das jedoch für diese Studie nicht möglich. So kann dies als erste Datensammlung angesehen werden, die eine weitere Nachkontrolle erfordert. Der BESS-Score wurde schon oft genutzt, ist aber ebenfalls vom Beobachter und dessen Verteilung der Fehlerpunkte abhängig. In dieser Studie führten 2 Untersucher den Test durch und könnten diesen mit unterschiedlichen Maßstäben bewertet haben. Des Weiteren wurde in der Literatur der beidbeinige Stand auf fester Oberfläche und Schaumkissen als zu leicht angesehen (Linens et al., 2014).

Der SpeedCourt ist mit Sensorplatten ausgestattet, welche die Ergebnisse direkt messen und wiedergeben. Ein Fehler kann entstehen, wenn der Proband das Feld verlässt und so z. B. während des Tappings ein Kontakt nicht gezählt werden kann. Der Drop Jump wird zur Diagnostik, aber auch oft als Trainingsmethode genutzt. Hier ist die korrekte Ausführung von Bedeutung. Sie ist aber immer von der Motivation des Probanden und dem Verständnis des Ablaufes abhängig. In der Studienpopulation fanden sich nicht nur motivierte Sportler, sondern auch Teilnehmer höheren Alters oder mit anderen Erkrankungen. Diese Probanden könnten in der Testausführung beeinträchtigt worden sein und so Fehler entstanden sein, die bei Betrachtung der Ergebnisse beachtet werden müssen. Auch Struzik et al. (2016) kamen in ihrer Studie mit Basketballspielern zum Drop Jump zu der Erkenntnis, dass die Ergebnisse von der Sprungtechnik abhängen und diese gesteuert werden müssen, um die Sprungvariablen und RSI-Werte korrekter darzustellen.

## 6. Zusammenfassung

Ziel der hier vorgestellten Studie war es, klinische und apparative Assessments miteinander zu vergleichen und den Nutzen des Interaktiven Balance Systems für die Beobachtung des Heilungsverlaufs und die Diagnostik herauszufinden. Dazu wurden 79 Probanden in die Untersuchung eingeschlossen und konventionelle Diagnostik, wie die manuelle Untersuchung, das Röntgen und die MRT sowie erprobte Fragebögen (SF-12, FAOS) genutzt. Bestandteil des Sporttests waren Drop Jump Messungen auf dem SpeedCourt, ein 15 s Tapping und der BESS-Score. Zu allen 4 Messzeitpunkten, welche zum akuten Zeitpunkt, nach 3, 6 und 12 Wochen stattfanden, erfolgte eine Befragung über das subjektive Empfinden der Probanden und eine posturographische Messung mittels IBS. Alle Tests wurden von 60 Probanden abgeschlossen. Mithilfe des Interaktiven Balance Systems ließ sich der Heilungsverlauf dokumentieren. In allen Frequenzbereichen wurde nicht das Niveau der Referenzgruppe erreicht. In den Parametern ST, WDI, Synch, Left und Heel hingegen konnten dieses erreicht werden. Dabei war die größte Veränderung in den Parametern Synch und Left (linksseitig und rechtsseitig Verletzte) von MZP 1 auf MZP 2 zu beobachten sowie bei Left- linksseitig Verletzte zwischen MZP 3 und MZP 4 und Left- rechtsseitig Verletzte zwischen MZP 2 und MZP 3. Die Tendenz ging besonders bei den rechtseitig Verletzten zu einer erhöhten Fersenbelastung. Nach 12 Wochen wurde der verletzte Fuß zum Teil mehr belastet als der gesunde. Dies könnte auf eine gute Heilung hindeuten. Die IBS Parameter ließen sich zum Teil mit der Schmerzangabe der Probanden korrelieren. Zum MZP 4 in den Parametern F1 und F2-4 zeigten Patienten ohne Schmerz eine relevant höhere Leistungsfähigkeit als Probanden mit Schmerz bei Belastung. Von allen posturographischen Parametern wies der Parameter Heel den größten Zusammenhang mit dem subjektiven Empfinden und der manuellen Untersuchung auf. In Korrelation des Parameters Heel mit dem subjektiven Schmerz (MZP 2), dem vorderen Schublagentest (MZP 3) und dem lateralen Schub (MZP 1) zeigte sich für Probanden ohne Schmerz und festem lateralen und AP Schub eine größere Vorfußbelastung, jedoch ohne klinische Relevanz.

Die Supination stellte in der hier vorgestellten Studie, wie erwartet, die häufigste Verletzungsursache dar. Diagnosen mittels MRT zeigten keinerlei Korrelationen zu anderen Assessments und hatten keine Konsequenzen auf die Behandlung und das Outcome der Probanden. Im Röntgen wurde eine hohe Zahl an Teilnehmern mit Os Trigonum festgestellt. Es zeigte einen signifikanten Zusammenhang mit dem empfundenen Schmerz. Mit dem Interaktiven Balance System kann keine Diagnose gestellt werden, aber es ließ sich der Heilungsverlauf quantifizieren und es ergänzte so



die bekannten Assessments. Es zeigte sich nach 12 Wochen noch keine vollständige Heilung. Bewährte Assessments, wie eine ausführliche Anamnese, die klinische Untersuchung und die Röntgendiagnostik bleiben der Goldstandard. Das IBS kann als zusätzliches Assessment den Verlauf beobachten und Hinweise darauf geben, ob der Patient bereit für den Wiedereinstieg in den Sport ist oder weitere Behandlungen erfolgen sollten. Weitere Vorteile sind der geringe Zeitaufwand, das transportable System, sowie die Anwendbarkeit in allen Altersgruppen. Die MRT hingegen brachte keinen Vorteil für die Therapie und bleibt der speziellen Diagnostik, z. B. zur Stellung einer OP-Indikation vorbehalten. Limitationen könnten der unterschiedliche Verletzungsgrad der Probanden, mangelnde Erfahrung der Untersucher und nicht korrekt durchgeführte Tests sein. In der hier vorgestellten Studie hatten 33% der Teilnehmer nach 12 Wochen noch Schmerzen und 21% spürten eine Instabilität. Dabei erhielten die Probanden eine intensive Betreuung und ausreichende physiotherapeutische Behandlung, was im klinischen Alltag nicht immer der Fall ist. So zeigt sich, dass diese scheinbar kleine Verletzung langwierige Folgen für die Patienten haben kann und viele Verletzungsmechanismen noch nicht ausreichend verstanden sind, um die Behandlung optimieren zu können. Dies spricht dafür, dass sich mehr Studien mit den Ursachen und der frühen Diagnostik dieser Problematik beschäftigen sollten, um die Entstehung langwieriger Folgen, wie chronische Instabilität, zu vermeiden. Hier bietet das Interaktive Balance System die Möglichkeit, neue Behandlungsstrategien zu erfassen und diese vergleichbar zu machen, um so die bestmögliche Therapie herauszufiltern und bestehende Assessments zu ergänzen. Zur Diagnosefindung ist das IBS im Gegensatz zu etablierten Diagnostika nicht geeignet. Es kann aber unterstützend den Heilungsverlauf beobachten und darlegen, dass ein Behandlungszeitraum von 12 Wochen nicht, wie bisher erhofft, zur Heilung ausreichend ist. Das IBS zeigte, dass die Verletzung eine langfristige Auswirkung auf alle Subsysteme und somit auch auf die posturale Kontrolle hat. Dies gilt es als Fazit der Studie in den Alltag zu integrieren und gezielt weiter zu beobachten.

## 7. Literaturverzeichnis

Alzheimer C: Somatoviszzerale Sensibilität. In: Speckman EJ, Hescheler J, Köhling R (Hrsg): Physiologie, 6. Auflage, Urban&Fischer, München, 2013, S.56-72.

Anandacoomarasamy A, Barnsley L (2005) Long term outcomes of inversion ankle injuries. Br J Sports Med. 39:e14.

Avci S, Sayli U (1998) Comparison of the results of short-term rigid and semi-rigid cast immobilization for the treatment of grade 3 inversion injuries of the ankle. Injury. 29:581-4.

Bartels T, Brehme K, Pyschik M, Pollak R, Schaffrath N, Schulze S, Delank KS, Laudner K, Schwesig R (2019) Postural stability and regulation before and after anterior cruciate ligament reconstruction - A two years longitudinal Study. Physical Therapie in Sport. 38: 49-58.

Bartels T, Brehme K, Pyschik M, Schulze S, Delank KS, Fieseler G, Laudner KG, Hermassi S, Schwesig R (2018) Pre- and postoperative postural regulation following anterior cruciate ligament reconstruction. J Exerc Rehabil. 14:143-151.

Beynon BD, Renström PA, Alosa DM, Baumhauer JF, Vacek PM (2001) Ankle ligament injury risk factors: a prospective study of college athletes. J Orthop Res.19:213-20.

Bonnel F, Toullec E, Mabit C, Tourné Y, Sofcot (2010) Chronic ankle instability: Biomechanics and pathomechanics of ligaments injury and associated lesions. Orthop Traumatol Surg Res. 96:424-32.

Cho JH, Lee DH, Song HK, Bang JY, Lee KT, Park YU (2016) Value of stress ultrasound for the diagnosis of chronic ankle instability compared to manual anterior drawer test, stress radiography, magnetic resonance imaging, and arthroscopy. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 24:1022-8.

Cohen J: Statistical power analysis for the behavioral sciences. (2nd ed) L. Erlbaum Associates, New York, 1988.

Croy T, Koppenhaver S, Saliba S, Hertel J (2013) Anterior talocrural joint laxity: diagnostic accuracy of the anterior drawer test of the ankle. J Orthop Sports Phys Ther. 43:911-9.

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU) (2017) S1-Leitlinie: Frische Außenbandruptur am Oberen Sprunggelenk., gültig bis: 08.08.2022, abgerufen am: 31.08.2018, <http://www.dgu-online.de/qualitaet-sicherheit/leitlinien/leitlinien-der-dgu.html>.

Diener HC, Dichgans J (1988) Anwendung und Nutzen der statischen und dynamischen Standmessung (Posturographie). Fortschr Neurol Psychiatr. 56:249-258.

Doherty C, Bleakley C, Hertel J, Caulfield B, Ryan J, Sweeney K, Patterson MR, Delahunt E (2015) Coordination and symmetry patterns during the drop vertical jump, 6-months after first-time lateral ankle sprain. *J Orthop Res.* 33:1537-44.

Doherty C, Bleakley C, Hertel J, Sweeney K, Caulfield B, Ryan J, Delahunt E (2014) Lower extremity coordination and symmetry patterns during a drop vertical jump task following acute ankle sprain. *Hum Mov Sci.* 38:34-46.

Docherty CL, Valovich McLeod TC, Shultz SJ (2006) Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by the balance error scoring system. *Clin J Sport Med.* 16:203-208.

Eiff M.P, Smith A.T, Smith GE (1994) Early mobilization versus immobilization in the treatment of lateral ankle sprains. *Am J Sports Med.* 22:83–88.

Endele D, Jung C, Bauer G, Mauch F (2012) Value of MRI in diagnosing injuries after ankle sprains in children. *Foot Ankle Int.* 33:1063-8.

Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R (2010). Intrinsic risk factors for acute ankle injuries among male soccer players. A prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports*, 20:403-410.

Ferran NA, Maffulli N (2006) Epidemiology of sprains of the lateral ankle ligament complex. *Foot Ankle Clin.* 11:659-62.

Fong DT, Chan YY, Mok KM, Yung PS, Chan KM (2009) Understanding acute ankle ligamentous sprain injury in sports. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 1:14.

Freeman MA, Dean MR, Hanham IW (1965) The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br.* 47:678–685.

Frick U, Schmidtbleicher D, Wörn C (1991) Vergleich biomechanischer Meßverfahren zur Bestimmung der Sprunghöhe bei Vertikalsprüngen. *Leistungssport*, 21:48-53.

Friedrich M, Grein HJ, Wicher C, Schuetze J, Mueller A, Lauenroth A, Hottenrott K, Schwesig R (2008) Influence of pathologic and simulated visual dysfunctions on the postural system. *Exp Brain Res.* 186:305-14.

Fukuoka Y, Nagata T, Ishida A, Minamitani H (2001) Characteristics of somatosensory feedback in postural control during standing. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 9:145-53.

Fulton J, Wright K, Kelly M, Zebrosky B, Zanis M, Drvol C, Butler R (2014) Injury risk is altered by previous injury: a systematic review of the literature and presentation of causative neuromuscular factors. *Int J Sports Phys Ther.* 9:583-95.

Garrick JG (1977) The frequency of injury, mechanism of injury, and epidemiology of ankle sprains. *Am J Sports Med.* 5:241-2.

- Gaulrapp H (2015) Funktionelle sonografische Diagnostik bei Kapsel-Band-Verletzungen am OSG. *Trauma Berufskrankh* 17:15-21.
- Geronikolakis S, Wagner D, Best R (2015) Chronische Sprunggelenksbeschwerden bei Fußballern: Soccer's ankle. *Literaturreview*. OUP 01:011–017.
- Golditz T, Steib S, Pfeifer K, Uder M, Gelse K, Janka R, Hennig FF, Welsch GH (2014) Functional ankle instability as a risk factor for osteoarthritis: using T2-mapping to analyze early cartilage degeneration in the ankle joint of young athletes. *Osteoarthritis Cartilage*. 22:1377-85.
- Grebe P, Kreitner KF, Roeder W, Kersjes W, Hennes R, Runkel M (1995) Rupture of lateral ligaments of the ankle joint: MR imaging before and after functional therapy. *Rofo* 163:225-9.
- Güllich A und Schmidtbleicher D (1999) Struktur der Krafftigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50:223-234.
- Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y (2015) The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *Biomed Res Int*. 842804.
- Hank C (2017) Von der Außenbandruptur zur chronischen Instabilität. *Stadienadaptierte Therapie bei Sprunggelenkinstabilität*. OUP 7/8:396–400.
- Herb CC, Hertel J (2014) Current concepts on the pathophysiology and management of recurrent ankle sprains and chronic ankle instability. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*. 2:25–34.
- Hertel J (2002) Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train*. 37:364-375.
- Hootman JM, Dick R., Agel J (2007) Epidemiology of Collegiate Injuries for 15 Sports: Summary and Recommendations for Injury Prevention Initiatives. *J Athl Train*. 42:311-319.
- Illert M: Zerebellum. In: Speckman EJ, Hescheler J, Köhling R (Hrsg): *Physiologie*, 6. Auflage, Urban&Fischer, München, 2013, S.240-247.
- Iverson GL, Koehle MS (2013) Normative data for the balance error scoring system in adults. *Rehabil Res Pract*. 2013:846418.
- Keiner M, Sander A, Wirth K, Schmidtbleicher D (2013) Is there a difference between active and less active children and adolescents in jump performance? *J Strength Cond Res*. 27:1591-6.
- Kemler E, Thijs KM, Badenbroek I, van de Port IG, Hoes AW, Backx FJ (2016) Long-term prognosis of acute lateral ankle ligamentous sprains: high incidence of recurrences and residual symptoms. *Fam Pract*. 33:596–600.

- Klos K, Knobe M, Randt T, Simons P, Mückley T (2017) Verletzungen der Peronealsehnen. *Der Unfallchirurg* 120:1020-1030.
- Kobayashi T, Tanaka M, Shida M (2016) Intrinsic Risk Factors of Lateral Ankle Sprain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*. 8:190-3.
- Konradsen L, Bech L, Ehrenbjerg M, Nickelsen T (2002) Seven years follow-up after ankle inversion trauma. *Scand J Med Sci Sports*. 2002; 12:129–135.
- Kros W, Keijsers NLW, van Ochten JM, Bierma-Zeinstra SMA, van Middelkoop M (2016) Center of pressure during stance and gait in subjects with or without persistent complaints after a lateral ankle sprain. *Gait Posture*. 48:24-29.
- Linens SW, Ross SE, Arnold BL, Gayle R, Pidcoe P (2014) Postural-stability tests that identify individuals with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 49:15-23.
- McGinley J, Rinehart N: Posturography. In: Volkmar FR (eds) *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*. Springer, New York, 2013, pp. 94.
- McKay G, Goldie P, Payne W, Oakes B (2001) Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors. *Br J Sports Med*. 35:103–108.
- Milgrom C, Shlamkovitch N, Finestone A, Eldad A, Laor A, Danon YL, Lavie O, Wosk J, Simkin A (1991) Risk factors for lateral ankle sprain: a prospective study among military recruits. *Foot Ankle*. 12:26-30.
- Milford J, Sole CC, Sole G (2016) Plantar pressure profiles of athletes with and without ankle sprains while walking barefoot and in sport shoes. *Footwear Science*. 8:41-48.
- Milz P, Milz S, Steinborn M, Mittlmeier T, Putz R, Reiser M (1998) Lateral ankle ligaments and tibiofibular syndesmosis. 13-MHz high-frequency sonography and MRI compared in 20 patients. *Acta Orthop Scand*. 69:51-5.
- Morrison KE, Hudson DJ, Davis IS, Richards JG, Royer TD, Dierks TA, Kaminski TW (2010) Plantar pressure during running in subjects with chronic ankle instability. *Foot Ankle Int*. 31:994-1000.
- Nault ML, Kocher MS, Micheli LJ (2014) Os trigonum syndrome. *J Am Acad Orthop Surg*. 22:545-53.
- Oppenheim U, Kohen-Raz R, Alex D, Kohen-Raz A, Azarya M (1999) Postural characteristics of diabetic neuropathy. *Diabetes Care*. 22:328-32.
- Phisitkul P, Chaichankul C, Sripongsai R, Prasitdamrong I, Tengtrakulcharoen P, Suarchawaratana S (2009) Accuracy of anterolateral drawer test in lateral ankle instability: a cadaveric study. *Foot Ankle Int*. 30:690-5.

Polzer H (2018) Umknick-Verletzungen von Fuß und Sprunggelenk. Der Unfallchirurg. 121:680.

Polzer H, Kanz KG, Prall WC, Haasters F, Ockert B, Mutschler W, Grote S (2012) Diagnosis and treatment of acute ankle injuries: development of an evidence-based algorithm. Orthop Rev (Pavia). 4:e5.

Polzer H, Ockert B, Grote S, Volkering C, Mutschler W, Kanz KG (2009) Umgeknickt: Welche Bänder sind verletzt? MMW Fortschr Med. 151:42-3.

Powers CM, Ghoddosi N, Straub RK, Khayambashi K (2017) Hip Strength as a Predictor of Ankle Sprains in Male Soccer Players: A Prospective Study. J Athl Train. 52:1048-1055.

Rammelt S: Rekonstruktion der tibiofibularen Syndesmose. In: Stukenborg-Colsman C (Hrsg.): Kurzgefasste Fußchirurgie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York, 2017, S. 317.

Roos EM, Brandsson S, Karlsson J (2001) Validation of the foot and ankle outcome score for ankle ligament reconstruction Foot Ankle Int. 22:788-94.

Rosenbaum D, Becker HP (1999) Ankle orthotic devices. Review, areas of application, and scientific results. Orthopade. 28:559-564.

Schünke M, Schulte E, Schumacher E (Hrsg): Bandapparat des Fußes. In: PROMETHEUS Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: LernAtlas der Anatomie. 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York, 2011, S. 460-461.

Schwartz S, Segal O, Barkana Y, Schwesig R, Avni I, Morad Y (2005) The effect of cataract surgery on postural control. Invest Ophthalmol Vis Sci. 46:920-4.

Schwesig R: Das posturale System in der Lebensspanne. Dr. Kovac Verlag, Hamburg, 2006, S. 346-356.

Schwesig R, Becker S, Fischer D (2014a) Intraobserver reliability of posturography in healthy subjects. Somatosens Mot Res. 31:16-22.

Schwesig R, Becker S, Lauenroth A, Kluttig A, Leuchte S, Esperer HD (2009a) A novel posturographic method to differentiate sway patterns of patients with Parkinson's disease from patients with cerebellar ataxia. Biomed Tech (Berl). 54:347-56.

Schwesig R, Fischer D, Becker S, Lauenroth A (2014b) Intraobserver reliability of posturography in patients with vestibular neuritis. Somatosens Mot Res. 31: 28-34.

Schwesig R, Fischer D, Kluttig A (2013) Are the changes in postural regulation across the lifespan? Somatosens Mot Res 30:167-74.

Schwesig R, Hollstein L, Plontke SK, Delank KS, Fiesler G, Rahne T (2017) Comparison of intraobserver single-task reliabilities of the Interactive Balance System (IBS) and Vertiguard in asymptomatic subjects. Somatosens Mot Res. 34:9-14.

Schwesig R, Kluttig A, Leute S, Becker S, Schmidt H, Esperer HD (2009b) Der Einfluss unterschiedlicher Sportarten auf die Haltungsregulation. *Sportverletz Sportschaden* 23:148-154.

Schwesig R, Lauenroth A, Becker S, Hottenrott K (2006) Das posturale System in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. *Manuelle Medizin* 44:385-390.

Stolze H, Vieregge P, Deuschl G: Gangstörungen und Stürze. In: Deuschl G., Reichmann H. (Hrsg): *Gerontoneurologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York, 2006, S.21.

Struijs PA, Kerkhoffs GM (2010) Ankle sprain. *BMJ Clin Evid*. 1115.

Struzik A, Juras G, Pietraszewski B, Rokita A (2016) Effect of drop jump technique on the reactive strength index. *J Hum Kinet*.52:157-164.

Tol JL, Slim E, van Soest AJ, van Dijk CN (2002) The relationship of the kicking action in soccer and anterior ankle impingement syndrome. A biomechanical analysis. *Am J Sports Med*. 30:45-50.

Tropp H, Odenrick P, Gillquist J (1985) Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint. *Int J Sports Med*. 6:180-2.

Tsuruta T, Shiokawa Y, Kato A, Matsumoto T, Yamazoe Y, Oike T, Sugiyama T, Saito M (1981) Radiological study of the accessory skeletal elements in the foot and ankle (author's transl). *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*. 55:357-70.

Van Bergen CJ, Sierevelt IN, Hoogervorst P, Waizy H, van Dijk CN, Becher C (2014) Translation and validation of the German version of the foot and ankle outcome score. *Arch Orthop Trauma Surg*. 134:897-901.

Van Dijk CN, Lim LS, Bossuyt PM, Marti RK (1996a) Physical examination is sufficient for the diagnosis of sprained ankles. *J Bone Joint Surg Br*. 78:958-62.

Van Dijk CN, Mol BW, Lim LS, Marti RK, Bossuyt PM (1996b) Diagnosis of ligament rupture of the ankle joint. Physical examination, arthrography, stress radiography and sonography compared in 160 patients after inversion trauma. *Acta Orthop Scand*. 67:566-70.

Van Middelkoop M, van Rijn RM, Verhaar JA, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM (2012) Re-sprains during the first 3 months after initial ankle sprain are related to incomplete recovery: an observational study. *J Physiother*. 58:181-8.

Van Ochten JM, Mos MC, van Putte-Katier N, Oei EH, Bindels PJ, Bierma-Zeinstra SM, van Middelkoop M (2014) Structural abnormalities and persistent complaints after an ankle sprain are not associated: an observational case control study in primary care. *Br J Gen Pract*. 64:e545-53.

- Van Rijn RM, van Os AG, Bernsen RM, Luijsterburg PA, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM (2008) What is the clinical course of acute ankle sprains? A systematic literature review. *Am J Med.* 121:324-331.e6.
- Vaseenon T, Gao Y, Phisitkul P (2012) Comparison of two manual tests for ankle laxity due to rupture of the lateral ankle ligaments. *Iowa Orthop J.* 32:9-16.
- Verhagen RA, de Keizer G, van Dijk CN (1995) Long-term follow-up of inversion trauma of the ankle. *Arch Orthop Trauma Surg.* 114:92-6.
- Verhagen RA, Maas M, Dijkgraaf MG, Tol JL, Krips R, van Dijk CN (2005) Prospective study on diagnostic strategies in osteochondral lesions of the talus. Is MRI superior to helical CT? *J Bone Joint Surg Br.* 87:41-6.
- Vikram M, Sundaraganesh K, Justine M, Kurup M, Leonard JH (2012) Evaluation of postural control impairment using Balance Error Scoring System among athletes with ankle injury: an effective tool in daily clinical practice. *Clin Ter.* 163:383-6.
- Walcher MG, Leumann A, Wiewiorski M, Pagenstert G, Valderrabano V (2010) Sprunggelenks- und Fusserkrankungen bei Fussballern. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie.* 58:44-46.
- Wikstrom EA, Naik S, Lodha N, Cauraugh JH (2010) Bilateral balance impairments after lateral ankle trauma: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture.* 31:407-14.
- Wolfe MW, Uhl TL, Mattacola CG, McCluskey LC (2001) Management of ankle sprains. *Am Fam Physician.* 63:93-104.
- Wurm M, Wiewiorski M, Gösele A, Valderrabano V (2016) Die klinische Untersuchung von Fuß und Sprunggelenk. *Dtsch Z Sportmed.* 67: 111-116.
- Wurzinger LJ: Sprunggelenke. In: Aumüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spänel-Borowski K, Wolff W, Wurzinger LJ, Zlich HG (Hrsg): *Duale Reihe: Anatomie.* 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York, 2010, S. 358-364.



## 8. Thesen

1. Die Supination stellt mit 81% in dieser Studie die häufigste Verletzungsursache dar.
2. Das IBS hat sich als diagnostisches Assessment für die Beobachtung des Heilungsverlaufs bewährt.
3. Probanden ohne Schmerz- und Instabilitätsgefühl zeigten auch eine bessere Haltungsregulation.
4. Nach 12 Wochen zeigten sich weiterhin posturale Defizite und teils Verschlechterungen zu vorherigen Messzeitpunkten.
5. Probanden wiesen nach Abschluss der physiotherapeutischen Behandlung eine erhöhte Rückfußbelastung gegenüber den Referenzwerten auf.
6. Der Parameter Heel konnte von allen posturographischen Parametern den größten Zusammenhang zwischen Posturographie, manueller Untersuchung und subjektivem Empfinden herstellen.
7. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Schmerzangabe und dem Vorhandensein eines Os Trigonums ( $p=0,001$  und Chi-Quadrat=11,901).
8. Goldstandard für die Diagnostik von Sprunggelenksdistorsionen mit Bandverletzung bleibt Anamnese, körperliche Untersuchung und eine Röntgenaufnahme.

## 9. Anlage

### Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bandapparat des Fußgelenks, Ansicht von medial ( <i>mit freundlicher Genehmigung von: AMBOSS.Kapitel: Sprunggelenke und Fuß – Sprunggelenke; URL: <a href="https://www.amboss.com/de/library#xid=8o0OdS&amp;anker=Zd2ffedba7a98ef8d1abb529b02b8c0c">https://www.amboss.com/de/library#xid=8o0OdS&amp;anker=Zd2ffedba7a98ef8d1abb529b02b8c0c</a>; abgerufen am 07.09.2018, 15:52 Uhr; Illustrator*in: Karen Campbell</i> ).....	2
Abb. 2: Bandapparat des Fußgelenks, Ansicht von lateral ( <i>mit freundlicher Genehmigung von: AMBOSS.Kapitel: Sprunggelenke und Fuß – Sprunggelenke; URL: <a href="https://www.amboss.com/de/library#xid=8o0OdS&amp;anker=Zd2ffedba7a98ef8d1abb529b02b8c0c">https://www.amboss.com/de/library#xid=8o0OdS&amp;anker=Zd2ffedba7a98ef8d1abb529b02b8c0c</a>; abgerufen am 07.09.2018, 15:52 Uhr; Illustrator*in: Karen Campbell</i> ).....	2
Abb. 3: Studiendesign .....	11
Abb. 4: IBS Versuchsaufbau .....	13
Abb. 5: NO .....	14
Abb. 6: PO .....	14
Abb. 7: HR .....	14
Abb. 8: HB.....	14
Abb. 9: beidbeiniger Stand auf hartem Untergrund.....	15
Abb. 10: Einbeinstand auf dem Airex® Kissen .....	15
Abb. 11: Tandemstand auf dem Airex® Kissen .....	15
Abb. 12: SpeedCourt Testfläche mit den in orange markierten Sensorfeldern.....	16
Abb. 13: Drop Jump beidbeinig aus 30 cm Höhe während des Absprungs.....	16
Abb. 14: Drop Jump beid-beinig aus 30 cm während des erneuten Absprungs.....	16
Abb. 15: 15 s Tapping .....	16
Abb. 16: Frequenzbereich 1 (F1) im Längsschnitt, Median=alters- und geschlechtsadjustierter Referenzwert, P=Perzentile, $\eta_p^2$ =partielles Eta-Quadrat.....	23
Abb. 17: Frequenzbereich 2-4 (Parameter: F2-4) im Längsschnitt.....	23
Abb. 18: Frequenzbereich 5-6 (Parameter: F5-6) im Längsschnitt.....	23
Abb. 19: Frequenzbereich 7-8 (Parameter: F7-8) im Längsschnitt.....	24
Abb. 20: Stabilitätsindikator (Parameter: ST) im Längsschnitt .....	24
Abb. 21: Gewichtsverteilungsindex (Parameter: WDI) im Längsschnitt.....	25
Abb. 22: Fußkoordination (Parameter: Synchronisation) im Längsschnitt.....	25
Abb. 23: Linksseitige Gewichtsverteilung (Parameter: Left) im Längsschnitt am Beispiel der linksseitig verletzten Patienten. ....	25
Abb. 24: Linksseitige Gewichtsverteilung (Parameter: Left) im Längsschnitt am Beispiel der rechtsseitig verletzten Patienten.....	26
Abb. 25: Fersenbelastung (Parameter: Heel) im Längsschnitt am Beispiel der linksseitig verletzten Patienten. ....	26
Abb. 26: Fersenbelastung (Parameter: Heel) im Längsschnitt am Beispiel der rechtsseitig verletzten Patienten.....	27
Abb. 27: Verteilung Patienten bzgl. der Schmerzangabe.....	28
Abb. 28: Verteilung der Patienten bzgl. der Instabilitätsangabe .....	29
Abb. 29: Auswertung des FAOS in den verschiedenen Ebenen (n=56).....	29
Abb. 30: Auswertung des SF-12 in den verschiedenen Skalen und Gesamt (n=56) ....	30
Abb. 31: Zusammenhang zwischen dem Parameter Dorsalextension aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 1. ....	43
Abb. 32: Zusammenhang zwischen dem Parameter Plantarflexion aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 1. ....	43
Abb. 33: Zusammenhang zwischen dem Parameter Kapselschwellung aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 4. ....	44
Abb. 34: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz anterolateral aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 4. ....	44

Abb. 35: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz medial aus der manuellen Untersuchung und der Schmerzangabe zum MZP 1.....	44
Abb. 36: Zusammenhang zwischen dem Parameter Kapselschwellung und der Instabilitätsangabe zum MZP 4. ....	45
Abb. 37: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz medial aus der manuellen Untersuchung und der Instabilitätsangabe zum MZP 1. ....	46
Abb. 38: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz medial aus der manuellen Untersuchung und der Instabilitätsangabe zu MZP 4. ....	46
Abb. 39: Zusammenhang zwischen dem Parameter Druckschmerz anterolateral aus der manuellen Untersuchung und der Instabilitätsangabe zum MZP 4. ....	46

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Patientenstichprobe bezüglich des Geschlechtes und körperlichen Merkmalen .....	21
Tab. 2: Drop-Out Ursachen und Populationszuwachs im Längsschnitt.....	21
Tab. 3: Verteilung der Probanden in der Seitigkeit und im Verletzungsmechanismus..	22
Tab. 4: Häufigkeitsverteilung der Probanden innerhalb der posturographischen Parametern Heel und Left zu MZP 1 und MZP 4. ....	27
Tab. 5: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Schmerzempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001 .....	32
Tab. 6: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Schmerzempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001 .....	33
Tab. 7: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Instabilitätsempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001 .....	35
Tab. 8: Varianzanalyse der posturographischen Parameter im Längsschnitt in Abhängigkeit vom Instabilitätsempfinden. Adjustierung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Korrektur (0,05 / 36): 0,001 .....	36
Tab. 9: Beziehung zwischen der Instabilitäts- und Schmerzangabe der Patienten zu MZP 4 und den Ergebnissen des FAOS's. ....	37
Tab. 10: Verteilung der Probanden auf die Ergebnisse der manuellen Untersuchung zu allen vier Messzeitpunkten .....	39
Tab. 11: Deskriptive Datenanalyse seitens der posturographischen Paramater und dem AP Vorschub (MW $\pm$ SD).....	40
Tab. 12: Inferenzstatistisch Datenanalyse ( $p$ , $\eta_p^2$ ) seitens der posturographischen Paramater und dem AP Vorschub .....	41
Tab. 13: Deskriptive Datenanalyse seitens der posturographischen Paramater und dem lateralen Schub (MW $\pm$ SD) .....	41
Tab. 14: Inferenzstatistisch Datenanalyse ( $p$ , $\eta_p^2$ ) seitens der posturographischen Paramater und dem lateralen Schub .....	42
Tab. 15: Beziehung zwischen dem subjektiv empfundenen Schmerz und Parametern der körperlichen Untersuchung zu den MZP 1 und 4.....	43
Tab. 16: Beziehung zwischen der subjektiv empfundenen Instabilität und Parametern der körperlichen Untersuchung zu MZP 1 und MZP 4 .....	45
Tab. 17: Beziehung zwischen Ergebnissen der motorische Tests (Tapping, Drop Jump) und Parametern der posturographischen und manuellen Untersuchung .....	48
Tab. 18: Korrelation zwischen Parametern des DJs und Parametern der posturographischen und manuellen Untersuchung.....	49
Tab. 19: Häufigkeitsverteilung der Probanden in Bezug auf Parameter der Röntgen- und MRT- Untersuchung zu MZP 1. Gesamtstichprobe: n=79.....	51

## Anlage 1 (Probandeninformation)



### Probandeninformation



#### „Beurteilung des Rehabilitationsverlaufs nach Sprunggelenksbandruptur“

##### Sehr geehrter Studienteilnehmer,

Im Rahmen eines Forschungsprojektes führt das Department Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie (DOUW) des Universitätsklinikums Halle/Saale in Zusammenarbeit mit der Sportklinik Halle eine Studie zum Thema „Beurteilung des posttraumatischen Rehabilitationsverlaufs nach Sprunggelenksbandruptur“ durch.

##### Was ist das Ziel dieser Studie?

Ziel der Studie ist es, herauszufinden, welchen Einfluss unterschiedliche physiotherapeutische Maßnahmen auf den Heilungsverlauf von Bandrupturen des Sprunggelenks haben und welche Diagnostik zur Beurteilung der Verletzung am besten geeignet ist.

##### Wie läuft die Studie ab?

Zeitnah nach der Verletzung und Vorstellung in der Sportklinik wird eine Gleichgewichtsmessung (Posturographie) durchgeführt. Diese Gleichgewichtsanalyse dient zur Ermittlung der Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation. Darüber hinaus füllen Sie einen Fragebogen zu ihrer Verletzung aus. Zusätzlich zu diesen Untersuchungen in der ersten Woche nach ihrem Unfall, finden diese Messungen zeitgleich mit den üblichen Kontrollterminen in der 3., 6. und 12. Woche nach ihrer Verletzung bei Dr. Brehme (Sportklinik Halle) statt. In der 12. Woche werden Sie außerdem im Weideplan 20 den SpeedCourt durchführen. Der SpeedCourt ist ein interaktives Trainings- und Sportgerät. Hier werden explosive Antritte, positionsspezifischer Richtungswechsel, intrakoordinative Fähigkeiten und kognitive Wahrnehmungsabläufe gefestigt und trainiert. Erfasst werden Zeiten von Bewegungsabläufen, Bodenkontaktzeiten, Sprunghöhen sowie Reaktionszeiten. Der Speedcourt ermöglicht exakte Fehleranalysen sowie Trainingsoptimierung- und Steuerung. Außerdem führen wir einen weiteren Balancetest mittels BESS-Score durch.

##### Was geschieht mit den Ergebnissen / Daten?

Die von Ihnen erhobenen Daten werden im Computer gespeichert und wissenschaftlich ausgewertet. Um die Testleistung (Posturographie, Fragebogendaten, SpeedCourt, Optojump) mit den persönlichen und personenbezogenen Daten (Name, Geburtsdatum) in Beziehung setzen zu können, erfolgt eine Pseudonymisierung (Verschlüsselung) der Daten. Durch die Verschlüsselung Ihrer Daten kann ein Bezug zu Ihnen nur durch eine (allgemein nicht zugängliche) Liste erfolgen. Alle Daten werden streng vertraulich behandelt und nur zu dem angegebenen Forschungszweck verwendet. Alle Studienmitarbeiter, die mit Ihren Daten umgehen, werden auf die Datenschutzvorschriften der Datenschutzgesetze verpflichtet und unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht. Es erfolgt keine Weitergabe personenbezogener Daten an Dritte. Eine Nutzung Ihrer Daten für kommerzielle Zwecke ist ausgeschlossen.

##### Was habe ich für Vorteile, wenn ich an der Studie teilnehme?

Sie erhalten eine intensive Behandlung ihrer Verletzung. Die Posturographie und der SpeedCourt sollen den genauen Zeitpunkt der wieder möglichen Vollbelastung bestimmen helfen und damit das Risiko für erneute Verletzungen reduzieren.

##### An wen wende ich mich, wenn ich Fragen zur Studie habe?

Dr. med. Kay Brehme, Sportklinik Halle, 0345/2264800

##### Was benötige ich?

Wenn sie bereits von einem anderen Arzt oder im Krankenhaus geröntgt wurden, bringen sie bitte die Röntgenbilder zur nächsten Untersuchung mit! Außerdem ist zu jeder Messung die Bandage mitzubringen und in Woche 12 benötigen sie Sportsachen.

Anlage 2 (Patientenfragebogen)



**Aufnahme- und Befundbogen**

ID-Nummer: OSG.....

**Allgemeine Informationen**

Name: .....

Geschlecht:  weiblich  männlich

Geburtsdatum: .....

Größe: .....m

Gewicht: .....kg

Beruf: .....

Sportart: ..... Anzahl:...../Woche

**Unfallhergang**

betroffene Seite:  rechts  links

Unfalltag: .....

Vorstellung außerhalb der Sportklinik: .....

Vorstellung in der Sportklinik Halle: .....

Unfallmechanismus:  Supination  Pronation  Extension

Andere:.....

**Akuter Befund (MZP1):**

Schmerz:  Schmerzen in Ruhe  Schmerzen bei Belastung  kein Schmerz

Instabilität:  Instabilität mit Umknicken  Instabilität ohne Umknicken  keine Instabilität

**Befund nach 3 Wochen (MZP2):**

Schmerz:  Schmerzen in Ruhe  Schmerzen bei Belastung  kein Schmerz

Instabilität:  Instabilität mit Umknicken  Instabilität ohne Umknicken  keine Instabilität

**Befund nach 6 Wochen (MZP3):**

Schmerz:  Schmerzen in Ruhe  Schmerzen bei Belastung  kein Schmerz

Instabilität:  Instabilität mit Umknicken  Instabilität ohne Umknicken  keine Instabilität

**Befund nach 12 Wochen (MZP4):**

Schmerz:  Schmerzen in Ruhe  Schmerzen bei Belastung  kein Schmerz

Instabilität:  Instabilität mit Umknicken  Instabilität ohne Umknicken  keine Instabilität

## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Andere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich keine entgeltliche Hilfe von Beratungs- und Vermittlungsdiensten in Anspruch genommen.

Die Arbeit wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Halle (Saale), 17.02.2020

Maria Felsberg

## **Erklärung über frühere Promotionsversuche**

Ich erkläre hiermit, dass ich bisher keine andere Promotion verfasst und eingereicht habe.

Halle (Saale), 17.02.2020

Maria Felsberg



## Lebenslauf

### *Persönliche Daten:*

Name: Maria Felsberg  
Geburtsdatum: 25.08.1993  
Geburtsort: Sonneberg  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig, keine Kinder

### *Schulbildung:*

August 2000 – Juni 2004 Grundsschule Hasenthal  
August 2004 – Juli 2012 Staatliches Gymnasium „Hermann Pistor“  
Sonneberg, Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

### *Berufsausbildung:*

Oktober 2012 - Dezember 2019 Humanmedizinisches Studium an der  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Abschluss erstes Staatsexamen September 2014  
Abschluss zweites Staatsexamen April 2018  
Abschluss drittes Staatsexamen Dezember 2019

### *Beruflicher Werdegang:*

Januar 2020 - Universitätsklinikum Halle,  
Department für Orthopädie,  
Unfall- und Wiederherstellungschirurgie

Halle (Saale), 17.02.2020

Maria Felsberg

## **Danksagung**

Besonderer Dank gilt meinen Betreuern Prof. Dr. med. Karl Stefan Delank, apl. Prof. Schwesig und Dr. med. Kay Brehme für die unermüdliche Unterstützung und Hilfe.

Außerdem danke ich den Probanden für ihre Zeit, Geduld und Mitarbeit.

Ohne die Unterstützung des gesamten Teams der Sportklinik Halle wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Besonders danke ich Manuela Neumann, Sandra Kloß und dem Team der Physiotherapie unter Leitung von Stefan Pröger, die immer ein offenes Ohr hatten und denen keine Frage zu viel war.

Mein Dank gebührt aber auch meiner Familie und meinen Freunden für das Verständnis, die moralische Unterstützung und dafür, dass sie mich immer wieder neu motiviert haben.