

Aus der Orthopädischen Universitätsklinik mit Poliklinik
Tübingen

Pedobarographische Analyse operativ behandelter
Patienten mit Hallux valgus

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Wallek, Hannah

2019

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1.Berichterstatter: Professor Dr. N. Wülker

2.Berichterstatter: Professor Dr. A Nieß

Tag der Disputation: 04.02.2019

Für meine Familie- insbesondere für meine Mama

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1. EINLEITUNG.....	8
1.1. Definition des Krankheitsbildes Hallux valgus	9
1.2. Prävalenz.....	10
1.3. Pathogenese.....	10
1.4. Ätiologie.....	11
1.4.1. primäre und endogene Ursachen.....	11
1.4.2. sekundäre und exogene Ursachen.....	11
1.5. Symptome.....	12
1.6. Diagnostik.....	13
1.6.1. Anamnese und klinische Untersuchung.....	13
1.6.2. Röntgendiagnostik	13
1.7. Therapie und Prophylaxe	14
1.7.1. konservative Therapie.....	14
1.7.2. operative Maßnahmen	15
1.7.2.1. Operationsindikation.....	15
1.7.2.2. Kontraindikationen	16
1.7.2.3. Durchführung und Wahl des passenden Operationsverfahrens.....	16
1.7.2.4. Nachbehandlung	19
1.8. Abrollvorgang und Gangbild	19
1.8.1. Voraussetzungen für ein normales Gangbild.....	19
1.8.2. Analyse des Gangbildes.....	20
1.8.3. Abrollvorgang des menschlichen Fußes	20
1.8.4. Druckverteilung am gesunden Fuß.....	21
1.8.5. Druckverteilung bei Hallux valgus	22
2. MATERIAL UND METHODEN.....	22

2.1. Studiendesign	22
2.1.1. Schematische Darstellung des Studienablaufes	23
2.1.2. Anamnese, Inspektion und klinische Untersuchung	24
2.1.3. Radiologische Untersuchung	24
2.1.4. AOFAS-Score Fragebogen	25
2.1.5. Pedobarographische Messung am Laufband.....	26
2.2. Patientenkollektiv	28
2.3. Ein- und Ausschlusskriterien	30
2.4. Abbruchkriterien	31
2.5. Patientenrekrutierung	31
2.6. Messapparatur	32
2.6.1. Das Laufbandergometer und das Kraftverteilungsmesssystem WinFDM-T	32
2.6.2. Software WinFDM-T.....	33
2.6.3. Videokamera.....	34
2.6.4. Maskenprogramm (Matlab)	34
2.7. Datenverarbeitung	36
2.7.1. Datensammlung, Datenspeicherung und Datenauswertung.....	36
2.8. Statistische Auswertung	37
2.8.1. Deskriptive Statistik.....	37
2.8.2. Signifikanztest	38
3. ERGEBNISSE	38
3.1. Maximaldruckwerte im postoperativen Verlauf	38
3.1.1. Darstellung des Maximaldruckes.....	38
3.1.2. Darstellung des Maximaldruckes in den Bereichen MT1, MT23 und MT45	38
3.1.3 Vergleich des Maximaldruckes zwischen den einzelnen Operationsverfahren	43
3.2. AOFAS-Score	44
3.2.1. Darstellung des AOFAS-Scores	44
3.2.2. Darstellung des AOFAS-Scores der einzelnen Operationsverfahren.....	45
4. DISKUSSION	47

4.1. Patientengut	47
4.2. Messanordnung und Messapparatur	48
4.3. Maximaldruck	50
4.4. AOFAS-Score.....	54
5. ZUSAMMENFASSUNG	57
6. LITERATURVERZEICHNIS	61
7. ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL.....	73
8. VERÖFFENTLICHUNGEN	74
9. DANKSAGUNG	75
11. ANHANG.....	76
11.1. Informationsblatt und Einverständniserklärung	76
11.2. Untersuchungs- und Anamnesebogen für Patienten	77
11.3. Operationsbogen.....	79
11.4. Radiologische Untersuchung	80
11.5. Fragebogen AOFAS-Score.....	81
11.6. Report der Ganganalyse	82

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	analysis of variance
APD-Format	agile pseudocode development-Format
ASCII	american standard code for information interchange II
AOFAS-Score	American Orthopaedic Foot and Ankle Society-Score
BMI	Body-Mass-Index (kg/m ²)
BOT	Basisosteotomie
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
COT	Chevron-Osteotomie
d.h.	das heißt
et al.	et alii, et aliae, et alia
etc.	et cetera
evt.	eventuell
F	F-Wert
GZGGA	Großzehengrundgelenksarthrodese
h	Stunde
IP-Gelenk	Interphalangealgelenk
km	Kilometer
M./Mm.	Musculus/Musculi
MT	Metatarsale/Metatarsalia
MTP-Gelenk	Metatarsophalangeal-Gelenk
n	Anzahl
N	Newton
p	p-Wert, Signifikanzwert
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
RAP	Resektionsarthroplastik
SF-36 Fragebogen	Short-Form-36 Fragebogen
sog.	sogenannte/-r/-s
Syn.	Synonym
VAS-Skala	Visuelle Analogskala
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Die häufigste^(1, 2) und bedeutsamste⁽³⁾ Zehendeformität des Menschen stellt der Hallux valgus dar. Bei einem Hallux valgus kommt es zu einer Lateralisierung der Großzehe⁽¹⁻⁵⁾. Diese wird häufig begleitet von Begleiterscheinungen wie dem Metatarsus primus varus^(1, 3-6) oder Fehlstellungen der Kleinzehe^(2, 3, 5, 6).

Wie bereits in vorherigen Studien untersucht wurde, haben Fußdeformitäten Auswirkungen auf das Abrollverhalten und auf die plantare Druckverteilung⁽⁷⁻¹⁰⁾. Auch in der Dissertationsschrift von Frau Schiek⁽¹¹⁾, welche ebenfalls an der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen verfasst wurde, konnte bei identischem Versuchsaufbau zu dieser Studie gezeigt werden, dass sich das Abrollverhalten von Hallux valgus Patienten hinsichtlich der plantaren Druckverteilung sowie anderen ganganalytischen Parametern von dem Gangbild fußgesunder Personen unterscheidet.

Neben Veränderungen im Gangbild kommt es bei Personen mit Fußdeformitäten jedoch auch zu klinischen Beschwerden wie Schmerzen⁽¹²⁾. Laut Hill et al.⁽¹³⁾ sind einer von fünf Personen in der Allgemeinbevölkerung betroffen.

Sowohl Fußdeformitäten als auch die daraus resultierenden Schmerzen können zu Einschränkungen in der Verrichtung alltäglicher Arbeiten führen^(12, 14), was wiederum einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensqualität hat⁽¹³⁾. Wie wichtig jedoch die Patientenzufriedenheit ist, zeigten Groarke et al.⁽¹⁵⁾, indem sie zu dem Schluss kamen, dass die Patientenzufriedenheit eines der wichtigsten Ziele einer Operation sei. Bei Patienten mit postoperativ hohen Werten in Bezug auf den AOFAS-Score war die Patientenzufriedenheit hoch⁽¹⁶⁾ bis sehr hoch⁽¹⁷⁾.

Wie bereits in anderen Studien wurde die Patientenzufriedenheit auch in dieser Studie mit dem AOFAS-Score erfasst, da dieser unter anderem sowohl das Schmerzempfinden, als auch Einschränkungen im Alltag oder bei Freizeitaktivitäten berücksichtigt.

Ziel dieser Studie ist es in einem follow-up von 24 Wochen darzustellen, ob und in welcher Form es nach Hallux valgus Operationen zu einer Veränderung hinsichtlich der plantaren Druckverteilung kommt. Besonderes Augenmerk galt hierbei dem plantaren Spitzendruck, der mit Hilfe einer pedobarographischen Laufbandanalyse erhoben wurde.

Da die Lebensqualität der Patienten durch eine Fußdeformität wie die des Hallux valgus häufig eingeschränkt ist⁽¹⁸⁾, untersuchten wir außerdem, ob und inwieweit eine Veränderung des plantaren Spitzendrucks nach der Operation auch in einer Veränderung des AOFAS-Scores resultierte.

1.1. Definition des Krankheitsbildes Hallux valgus

Bei einem Hallux valgus handelt es sich um eine Abweichung der Großzehe nach lateral⁽¹⁻⁵⁾. Zusätzlich weicht das Os metatarsale I häufig nach medial ab^(1, 6) und es entsteht ein Metatarsus primus varus^(1, 3-6). Auch eine Drehung der Großzehe in Pronationsstellung^(1, 4, 5) und damit eine Innenrotation der Großzehe^(2, 3) ist typisch bei einem Hallux valgus.

Der Grad der Abweichung der Großzehe und damit die Ausprägung der Fehlstellung wird mit dem sogenannten Fußinnenrandwinkel (Syn.: Hallux valgus Winkel) in Winkelgrad angegeben⁽¹⁹⁾. Hierunter versteht man den Winkel zwischen Grundphalanx und dem Os metatarsale I⁽¹⁾. Ein Hallux valgus Winkel von bis zu 20° wird noch als physiologisch angesehen, bei einem Winkel > 20°⁽¹⁾ spricht man von einem Hallux valgus^(1, 20).

Der Intermetatarsalwinkel, der Winkel zwischen Os metatarsale I und Os metatarsale II⁽¹⁾, stellt den Grad der Abweichung des Os metatarsale I dar. Hier gilt ein Winkel bis zu 10° als physiologisch⁽¹⁾.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sich bei dem Krankheitsbild Hallux valgus um eine Fehlstellung mit folgenden Komponenten handelt:

- Abweichung der Großzehe nach lateral⁽¹⁻⁵⁾
- Kombination mit Metatarsus primus varus^(1, 3-6)
- schmerzhafte Pseudoexostose^(3, 5)

1.2. Prävalenz

Abhängig vom Alter beträgt die Prävalenz 23%-35,7%⁽²¹⁾. Da es sich um eine progredient verschlechternde Fehlstellung⁽⁶⁾ handelt, sind vor allem Menschen im Erwachsenenalter^(3, 22) betroffen. Während die Prävalenz bei Jugendlichen laut Janssen et al.⁽²³⁾ 3,5% beträgt, weisen 23%⁽²¹⁾ der 18-65-Jährigen einen Hallux valgus auf. Bei den über 65-Jährigen Menschen beträgt die Prävalenz 65,7%^(21, 23).

Neben dem Lebensalter ist die Prävalenz des Hallux valgus auch von dem Geschlecht abhängig. So seien deutlich mehr Frauen als Männer betroffen^(2, 3, 6, 21, 24-27). In einer Arbeit von Roddy et al.⁽²²⁾ betrug beispielsweise die Prävalenz für Frauen 38%, für Männer hingegen nur 21%.

1.3. Pathogenese

Die Pathogenese des Hallux valgus unterliegt einem „Circulus vitiosus“⁽¹⁾. Sobald eine Lateralisierung der Großzehe erfolgt ist, kommt es zu einer ständigen Zunahme der Fehlstellung.

Durch die lateral stehende Großzehe und dem Metatarsus primus varus wird das Großzehengrundgelenk nach medial verschoben, die Mittelfußknochen weichen weiter auseinander⁽⁵⁾. Dadurch werden die Beuge- und Strecksehnen des Großzehengrundgelenks mitsamt der Großzehe weiter nach lateral gezogen^(1, 4, 5). Hierdurch verändern sich die Zugrichtungen der Sehnen^(1, 4), eine Subluxation wird begünstigt⁽³⁻⁶⁾.

Auch der M. adductor hallucis verliert seine varisierende Wirkung^(4, 5), die Großzehe wird durch Änderung der Zugrichtung der Sehnen in Pronations-^(1, 3-5) und Flexionsstellung⁽⁴⁾ gebracht.

Durch all diese Komponenten wird eine Fehlhaltung bedingt, die zu einer Arthrosis deformans des Großzehengrundgelenks^(1, 5) mit konsekutiver Bewegungseinschränkung führen kann.

1.4. Ätiologie

Es gibt viele Theorien, die die Ursachen für die Entstehung eines Hallux valgus erklären. Hierbei sei jedoch erwähnt, dass kein Aspekt für sich alleine die Ausbildung dieser Fehlstellung erklären kann. Vielmehr ist davon auszugehen, dass ein Hallux valgus erst durch das Auftreten mehrerer Komponenten entsteht, es sich also um ein multifaktorielles Ereignis^(1, 2, 25, 28, 29) handelt.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen endogenen und exogenen Ursachen.

1.4.1. primäre und endogene Ursachen

Familiär gehäuftes Auftreten^(1, 5, 6) lässt auf eine erblich vermittelte Komponente⁽²⁾ des Hallux valgus schließen, vor allem wenn dieser bereits in jungen Jahren auftritt⁽⁵⁾. Bisher konnte jedoch noch kein Erbgang festgelegt werden^(1, 30).

1.4.2. sekundäre und exogene Ursachen

Ein sehr häufig in der Literatur beschriebener exogener Faktor für die Entstehung des Hallux valgus stellt das Schuhwerk dar^(1, 2, 5). Wie stark aber tatsächlich die Wahl des falschen Schuhwerkes die Entstehung des Hallux valgus begünstigt, wird immer noch kontrovers diskutiert. Laut Wülker⁽¹⁾ sind schmale, vorne spitz zulaufende Schuhe mit hohen Absätzen für die Entwicklung dieser Zehenfehlstellung förderlich. Auch in anderer Literatur^(2, 5) wird falsches Schuhwerk als ein Grund für die Entstehung eines Hallux valgus genannt. Im Gegensatz dazu vertreten Krämer und Grifka⁽⁴⁾ jedoch den

Standpunkt, dass das Schuhwerk in der Entstehung des Hallux valgus keine große Rolle spiele.

Neben dem falschen Schuhwerk scheint außerdem der Body-Mass-Index(BMI) einer Person in der Entstehung eines Hallux valgus nicht unbedeutend zu sein⁽²⁴⁾.

Auch eine sekundäre Entstehung des Hallux valgus durch fehlerhaft verheilte Frakturen⁽⁴⁾, synoviale Gelenkserkrankungen⁽⁵⁾, chronische Polyarthrit⁽²⁾ oder als postarthritische Erscheinungen in Folge von Rheuma⁽⁴⁾ ist möglich.

1.5. Symptome

Wie in vorangegangenen Kapiteln bereits erwähnt, zählen zu den Hauptmerkmalen des Hallux valgus die Valgität der Großzehe⁽¹⁻⁶⁾, eine mediale Exostose am Os metatarsale I⁽⁶⁾ sowie eine Add- oder Varusfehlstellung des Os metatarsale I^(2, 6). Betrachtet man die Fußsohle des Patienten, kann man unter Umständen Schwielenbildungen^(2, 3, 5, 6) an den Fußsohlen feststellen.

In schweren Fällen kann sich die Großzehe sogar unter oder über die benachbarten Zehen schieben⁽³⁾, was zu diversen Begleitdeformitäten, vor allem der zweiten Zehe⁽⁶⁾, führt. Hier ist vor allem die Hammer- und Krallenzehenbildung^(2, 3, 5, 6) mit begleitender Clavusbildung^(2, 6) zu nennen. Durch entzündliche Bursitiden, die sich auf Pseudoexostosen ausbilden können, kann es zu einem Druckschmerz im geschlossenen Schuh kommen^(1-3, 5). Neben Metatarsalgien, arthrotischen Veränderungen oder Clavusbildungen ist es möglich, dass auch die Fehlstellung der Großzehe selbst Schmerzen verursacht. Jedoch scheint der vom Patienten subjektiv empfundene Schmerz nicht mit dem Ausmaß der Fehlstellung zu korrelieren⁽³⁾.

1.6. Diagnostik

Auf Grund der typischen Symptomatik kann die Diagnose meist schon anhand klinischer Aspekte gestellt werden. Das Röntgenbild dient vorwiegend der Kontrolle sowie der Therapie- und Operationsplanung.

1.6.1. Anamnese und klinische Untersuchung

Hallux valgus Patienten klagen neben belastungs-⁽¹⁻³⁾ und bewegungsabhängigen Schmerzen häufig über Druckschmerzen am Kopf des Os metatarsale I^(1, 2). Vor allem durch enges Schuhwerk wird der Schmerzgrad häufig gesteigert^(1, 2). Überlicherweise wird auch über Schmerzen über dem lateralen Vorfuß geklagt, was als Transfermetatarsalgie bezeichnet wird.

Bei der Inspektion des Fußes fallen vor allem ein verbreiteter Vorfuß^(1, 2), eine sich in Valgusstellung befindende Großzehe⁽¹⁾ und in einigen Fällen eine Pseudoexostose^(3, 5) auf. Des Weiteren sind Schwielenbildungen über dem Os metatarsale II-IV⁽¹⁻³⁾, Rötungen^(1, 2), Weichteilschwellungen⁽¹⁾ und Hautulzerationen (vor allem im Spätstadium)⁽¹⁾ häufig zu beobachten.

Bei der klinischen Untersuchung sind, abhängig vom Schweregrad des Hallux valgus, Bewegungseinschränkungen des Großzehengrundgelenks feststellbar^(1, 2). Beträgt die physiologische aktive und passive Beweglichkeit für Dorsalextension/Plantarflexion im Großzehengrundgelenk 50/0/70°⁽¹⁾, ist sie bei Hallux valgus Patienten häufig eingeschränkt. Auch die Redressierbarkeit der Großzehe in die Normalstellung ist mit einer zunehmenden Schwere der Deformität eingeschränkt oder nicht mehr möglich.

1.6.2. Röntgendiagnostik

Neben der Anamnese und dem typischen klinischen Befund spielt in der Diagnostik des Hallux valgus auch das Röntgenbild eine wichtige Rolle. Hierbei erstellt man eine dorso–plantare Aufnahme des Vorfußes unter Belastung in 2 Ebenen^(1, 3, 5), anterior-posterior⁽⁵⁾ und streng seitlich.

Von diagnostischer Bedeutung sind der Hallux–valgus–Winkel (Winkel zwischen Grundphalanx und Os metatarsale I)⁽¹⁾, der Intermetatarsalwinkel^(2, 3) (Winkel zwischen Os metatarsale I und Os Metatarsale II)⁽¹⁾, der distale Gelenkflächenwinkel⁽²⁾ (Winkel zwischen Gelenkflächentangente des Kopfes des Os metatarsale I und der Senkrechten zur Schafthalbierenden des Os metatarsale I), die Kongruenz im Großzehengrundgelenk⁽²⁾ sowie der Grad einer eventuell vorhandenen Arthrose⁽¹⁻³⁾.

Unter physiologischen Bedingungen beträgt der Hallux–valgus–Winkel maximal 20°⁽¹⁾, der Intermetatarsalwinkel maximal 10°⁽¹⁾. Je nach Schweregrad des Hallux valgus vergrößern sich diese Winkel, der Fußinnenrandwinkel kann bis zu 45° und mehr⁽¹⁾ betragen.

1.7. Therapie und Prophylaxe

1.7.1. konservative Therapie

Konservative Therapiemaßnahmen kommen vor allem im Anfangsstadium⁽⁶⁾ mit dem Ziel der Beschwerdelinderung^(1, 2, 5, 31, 32) und der Behandlung der Begleiterscheinungen⁽²⁾ zur Anwendung.

Neben krankengymnastischen Übungen^(3, 4, 6) kommen Nachtschienen⁽²⁾ und verschiedene Einlagen^(5, 6, 33) zum Einsatz. Zur Beschwerdelinderung einer Metatarsalgie werden Pelotten^(1, 5) und Einlagen mit retrokapitaler Abstützung⁽³⁾ eingesetzt.

Es gilt zu beachten, dass Nachtlagerungsschienen die Deformität nicht entscheidend korrigieren können, sodass sie meist postoperativ zum Einsatz kommen⁽²⁾.

Außerdem sollte der Patient auf passendes Schuhwerk⁽⁶⁾ mit weitem und weichem Vorfußbereich^(1, 5) achten. Hohe Absätze sollten vermieden werden^(1, 5, 6). Auch Barfußlaufen wird empfohlen⁽⁶⁾.

1.7.2. operative Maßnahmen

Eine vollständige und dauerhafte Beschwerdefreiheit kann meist nur mit einer operativen Maßnahme erfolgen^(1, 5). Heutzutage sind insgesamt über 150 operative Verfahren^(3, 34) zur Korrektur des Hallux valgus bekannt. Auch wenn sich die Palette der operativen Möglichkeiten von minimalinvasiven Eingriffsmöglichkeiten^(3, 35) über gelenkerhaltende Eingriffe bis hin zu gelenkversteifenden und gelenkopfernden Eingriffen erstreckt, gibt es nach wie vor kein Idealverfahren⁽³⁾.

In dieser Arbeit wird auf die vier an der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen gängigen und bewährten Operationsverfahren Chevron-Osteotomie und Basisosteotomie als gelenkerhaltende Operationsverfahren, Großzehengrundgelenksarthrodese (gelenkversteifendes Verfahren) sowie auf die Resektionsarthroplastik nach Keller-Brandes (gelenkopferndes Operationsverfahren) näher eingegangen.

1.7.2.1. Operationsindikation

Eine der häufigsten Operationsindikationen des Hallux valgus stellen Schmerzen^(4, 31) unterschiedlicher Genese dar. Kann mit Hilfe konservativer Maßnahmen keine Schmerzfreiheit erreicht werden, ist eine Operation indiziert^(6, 31, 32). Bei Kindern ist jedoch eine Operation als Therapieoption generell mit Zurückhaltung in Erwägung zu ziehen⁽³⁾. Liegt jedoch eine Kombination aus einem ausgeprägten Metatarsus primus varus und einem Hallux valgus vor, kann auch bei Jugendlichen eine Operation sinnvoll sein⁽⁶⁾.

Neben Schmerzen stellen auch verschiedene Begleitdeformitäten wie Hammer- und Krallenzehen^(2, 3, 5, 6) eine Operationsindikation dar. Sind die Hammer- und Krallenzehen symptomatisch, sollte die operative Korrektur zur Ursachenbeseitigung immer in Kombination mit einer Hallux valgus Operation stattfinden. Dies gilt auch, wenn der Hallux valgus an sich noch symptomlos ist und die Beschwerden nur durch die Begleitdeformitäten entstehen.

Ob kosmetische Aspekte eine Rolle bei der Indikationsstellung spielen sollten, ist umstritten. Breusch⁽³⁾ und Netter⁽⁶⁾ vertreten die Meinung, dass die Indikation zum operativen Eingriff mit Zurückhaltung und nicht aus rein kosmetischen Gründen zu stellen sei.

1.7.2.2. Kontraindikationen

Um ein zufriedenstellendes postoperatives Ergebnis zu erzielen, ist es wichtig, dass die Grundvoraussetzungen für einen guten postoperativen Heilungsprozess gegeben sind. Von besonderer Bedeutung hierbei ist das Vorhandensein einer ausreichenden, peripheren Blutversorgung⁽³⁶⁾. Gibt es bei der präoperativen Überprüfung des Gefäßstatus Anzeichen starker Minderperfusion wie zum Beispiel bei einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (pAVK)⁽³⁾, darf keine Indikation zur Operation gestellt werden.

Bei Patienten mit einem asymptomatischen Hallux valgus mit dem Wunsch einer reinen kosmetischen Operation ist von einer Operation abzusehen⁽³⁾.

1.7.2.3. Durchführung und Wahl des passenden Operationsverfahrens

Um das jeweils passende Operationsverfahren für jeden einzelnen Patienten zu wählen, zieht man verschiedene Parameter zur Entscheidungsfindung heran.

So zählen der Grad des Hallux valgus Winkels und der Grad des Intermetatarsalwinkels⁽²⁾, genauso wie eventuell vorhandene arthrotische Veränderungen im Großzehengrundgelenk^(2, 5) und Redressierbarkeit der Valgusstellung⁽³⁷⁻³⁹⁾, zu den entscheidenden Parametern.

Auch das Alter des Patienten^(2, 5) spielt eine große Rolle. Hallux valgus Fehlstellungen des Jugendlichen und jungen Erwachsenen werden vorwiegend mit Weichteileingriffen und gelenkerhaltenden ossären Umstellungen korrigiert⁽³⁾, bei älteren Patienten sowie bei Patienten mit schweren

Gelenksdestruktionen kommt die Großzehengrundgelenksarthrodese oder die Resektionsarthroplastik zur Anwendung⁽¹⁾.

Chevron-Osteotomie

Geringe^(1, 31, 40, 41) bis mäßige^(36, 40-42) Hallux valgus Deformitäten mit einem Hallux valgus Winkel von $<15^{\circ(2)}$ oder $<30^{\circ(36)}$ und einem Intermetatarsale Winkel von $<12^{\circ(36)}$ oder $<15^{\circ(2)}$ und mit redressierbarer Großzehe können mittels Chevron-Osteotomie korrigiert werden.

Zunächst wird, falls vorhanden, die Pseudoexostose entfernt⁽⁴³⁾. Anschließend wird in der distalen Metaphyse des Os metatarsale I eine V-förmige Osteotomie^(1, 43, 44) durchgeführt. Das Kopffragment wird nun nach lateral verschoben^(1, 44) und mit einer Schraube^(36, 43, 44) oder einem Draht von innen fixiert^(36, 43). Wird die Chevron-Osteotomie mit einem distalen Weichteileingriff kombiniert, kann dieses operative Verfahren auch bei moderatem bis schwerem Hallux valgus eingesetzt werden⁽⁴⁰⁾. Dies birgt jedoch die Gefahr einer Köpfchennekrose.

Basisosteotomie

Vor allem bei Hallux valgus Patienten mit einem Metatarsus primus varus⁽³⁾ mit einem erhöhten Intermetatarsalwinkel⁽³⁶⁾, d.h. bei einem Intermetatarsalwinkel $>15^{\circ(2)}$ und ohne Redressierbarkeit der Großzehe, wird eine Basisosteotomie zur Korrektur des Hallux valgus durchgeführt.

Hierbei wird zunächst an der Basis des Os metatarsale I der Knochen durchtrennt⁽⁴⁵⁾ und ein Knochenkeil entnommen^(43, 45, 46). Anschließend wird der distale Teil des Os metatarsale I in die korrekte Position verschoben⁽⁴⁵⁾ und mit Schrauben^(43, 45, 46) oder einer Platte fixiert^(45, 46).

Um eine optimale Korrektur des Hallux valgus zu erreichen, wird die Basisosteotomie in der Regel mit einem distalen Weichteileingriff kombiniert⁽³⁶⁾.

Großzehengrundgelenksarthrodese

Diese Form der Operation wird vor allem bei aktiven Patienten^(2, 31, 47) mit gravierenden Fehlstellungen⁽²⁾ oder bei Vorliegen von arthrotischen Veränderungen im Großzehengrundgelenk⁽⁴⁸⁾ in Folge eines Hallux valgus, dem

sogenannten Hallux rigidus^(2, 47), angewendet. Eine Versteifung des Großzehengrundgelenkes als sekundäre Operation kann bei nicht erfolgreich vorangegangener Hallux valgus Operation als ultima ratio gewählt werden⁽⁶⁾.

Nach Entfernung von knöchernen Anlagerungen⁽⁴³⁾, Knorpel^(43, 47) und der Pseudoexostose⁽⁴⁹⁾ am Großzehengrundgelenk, wird das Großzehengrundgelenk in etwa 5°-10° Dorsalextension⁽⁴⁷⁾ und 10° Valgusstellung⁽⁴⁷⁾ gebracht und mit zwei Titanschrauben^(43, 47, 48) oder einer Platte⁽⁴⁷⁻⁴⁹⁾ fixiert.

Resektionsarthroplastik

Bei der Resektionsarthroplastik (=Operation nach Keller-Brandes) handelt es sich um eine gelenkopfernde Operation zur Korrektur des Hallux valgus⁽³⁾. Indiziert ist diese Operationsform vor allem bei älteren Patienten^(1, 3) mit zusätzlich zum Hallux valgus vorliegenden hochgradigen arthrotischen Veränderungen am Metatarsophalangealgelenk^(6, 43). Dieses Verfahren kann auch zur operativen Therapie eines Hallux rigidus angewendet werden⁽⁴³⁾. Im Gegensatz zur Großzehengrundgelenksarthrodese sollten bei der Resektionsarthroplastik jedoch keine allzu hohen Ansprüche an die postoperative Belastbarkeit gestellt werden⁽⁴³⁾.

Bei der Resektionsarthroplastik wird nach der Eröffnung des Metatarsophalangealgelenkes die Exostose entfernt^(43, 50). Anschließend wird 1 cm des proximalen Anteils der proximalen Phalanx reseziert^(49, 50). Nachdem die Gelenkkapsel zwischen das Os metatarsale I Köpfchen und der Resektionsfläche des Großzehengrundgliedes interponiert wurde^(6, 50), werden die reponierten Knochenfragmente mit einem Kirschnerdraht fixiert⁽⁴⁹⁾.

1.7.2.4. Nachbehandlung

Da der Heilungsprozess und damit auch der Erfolg der Operation stark von den postoperativen Maßnahmen abhängt, sollte auf diese mit besonderer Sorgfalt geachtet werden.

Zu den allgemeinen postoperativen Maßnahmen zählen: Hochlagerung des Fußes nach der Operation, lokale Kühlung mit Eis, Antiphlogistika (Ibuprofen), Thromboseprophylaxe und eine Röntgenkontrolle 6 Wochen postoperativ⁽³⁾. Laut Schuh et al.^(51, 52) kann durch postoperative Krankengymnastik und Gangtraining nach Chevron-Osteotomie die Belastung unter der Zehe⁽⁵¹⁾ und des ersten Strahls^(51, 52) verbessert werden.

Außerdem spielt die Entlastung der operierten Region in der Nachsorge von Vorfußoperationen eine große Rolle ⁽⁵³⁾. Hierzu stehen viele verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung⁽⁵³⁾. Im Rahmen von Hallux valgus Operationen ist es an der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen Standard, die Patienten postoperativ mit Hilfe eines Verbandschuhs für sechs Wochen zu mobilisieren. So trugen auch die Patienten, die in diese Studie eingeschlossen wurden, bis zur Studienkontrolle sechs Wochen postoperativ einen Verbandschuh. In dieser Zeit dürfen die Patienten voll belasten.

1.8. Abrollvorgang und Gangbild

1.8.1. Voraussetzungen für ein normales Gangbild

Der normale Gang wird durch das Zusammenspiel vieler Faktoren ermöglicht. So spielen in der Entwicklung des Gangbildes unter anderem Erbanlagen, Konstitution, Gewohnheiten aber auch individuelle Anpassungsvorgänge und die Ausbildung kognitiver und motorischer Fähigkeiten eine entscheidende Rolle⁽⁵⁾. Des Weiteren hat auch die Laufgeschwindigkeit^(54, 55) und das Alter⁽⁵⁶⁾ einen Einfluss auf das Gangbild.

Von Gage⁽²⁾ wurden verschiedene Voraussetzungen formuliert, die es überhaupt erst ermöglichen, einen normalen Gangzyklus auszuführen. Dazu

gehören: Standbeinstabilität, ausreichende Bodenfreiheit in der Schwungphase, Erstkontakt über die Ferse, ausreichende Schrittlänge und Energieminimierung.

1.8.2. Analyse des Gangbildes

Gängige Verfahren zur Analyse des Gangbildes im klinischen Alltag sind Inspektion^(57, 58) und klinische Untersuchung⁽⁵⁸⁾. Besonderes Augenmerk bei der Inspektion wird hierbei auf Schrittlänge, Ganggeschwindigkeit und auf eine eventuelle Verzögerung des Schrittmusters gelegt⁽²⁾. Auch die Schuhsohle⁽²⁾ kann Hinweise auf pathologische Abrollmechanismen liefern. Jedoch stellt die Inspektion durch die schlechte Objektivierbarkeit der Beobachtungen eine eher ungenaue Methode dar⁽⁵⁸⁾. Daher wird zu wissenschaftlichen Zwecken eher auf instrumentelle Ganganalysen zurückgegriffen⁽²⁾. Diese beinhalten, zusätzlich zur visuellen Analyse, synchron geschaltete Videokameras mit einer automatischen Auswertung der Daten^(2, 58). Auch die plantare Druckmessung wird zur Analyse des Gangbildes und zur Therapiekontrolle angewendet⁽⁵⁹⁻⁶³⁾.

1.8.3. Abrollvorgang des menschlichen Fußes

Der Abrollvorgang des Fußes beginnt mit dem Fersenkontakt⁽⁶⁴⁾ und wird über den lateralen Fußrand fortgesetzt. Daran anschließend werden die Metatarsalia I bis V von lateral nach medial belastet. Hierbei ist die Belastung des Os metatarsale III höher als die Belastung der Ossa metatarsalia I und V⁽⁶⁵⁾. Beendet wird der Bodenkontakt mit dem Abheben des Fußes über die Zehenspitzen, wobei die Großzehe als letztes den Bodenkontakt verliert^(57, 66, 67).

Das Abheben des Fußes erfolgt in folgender Reihenfolge: zunächst erfolgt das aktive Abstoßen des Vorfußes an den lateralen Metatarsalia, danach werden die Metatarsalia II aktiv abgestoßen und schließlich verliert der Hallux den Kontakt zum Boden⁽⁶⁷⁾.

1.8.4. Druckverteilung am gesunden Fuß

Auch wenn es durch Geschlecht^(27, 65, 68, 69), Alter^(56, 70), Körpergewicht^(71, 72) und Laufgeschwindigkeit⁽⁵⁴⁾ zu individuellen Druckverteilungen am Fuß jedes Menschen kommt, ist ein gemeinsames Grundmuster zu erkennen.

Anhand der plantaren Druckwerte konnten laut De Cock⁽⁶⁷⁾ vier Phasen der Standphase während des Gehens ausgemacht werden. Diese unterteilen sich in einen Initialkontakt mit 8,2%, einen Vorfußbodenkontakt mit 11,3%, „Foot flat“ mit 25,3% und einer Abstoßphase des Vorfußes mit 55,1%.

Der maximale Druck kommt in der Initialphase mit Aufsetzen der Ferse vor⁽⁷³⁾. Hier werden zwischen 70% bis 100% des Körpergewichts auf einen kleinen posterior-lateralen Bereich der Ferse übertragen⁽⁶⁶⁾. In der sich anschließenden Belastungsantwort befindet sich die Belastungsfläche unter dem Zentrum der Ferse⁽⁶⁶⁾. Die Druckbelastung am lateralen Mittelfuß sinkt⁽⁷³⁾. Im Vergleich zur Ferse beträgt sie nur 10%⁽⁶⁶⁾. Der Druck auf die Metatarsalköpfchen in der Terminalphase ist nicht konstant. Abhängig vom Knochenbau und der individuellen Biomechanik variiert er von Mensch zu Mensch von 60% bis 100%⁽⁶⁶⁾. Jedoch befindet sich die Hauptbelastung der Metatarsalköpfchen unter Kopf II und III⁽⁶⁵⁾. Mit 30% bis 55%⁽⁶⁶⁾ im Vergleich zum Fersendruck ist die Großzehe unter den Zehen am Stärksten belastet. Der geringste Druck befindet sich unter der fünften Zehe. Er beträgt lediglich die Hälfte des Drucks des dritten Metatarsalköpfchens⁽⁶⁶⁾.

Beim stehenden Menschen liegt die Hauptbelastung am lateralen Fußrand und im Bereich der Os metatarsalia II und III⁽⁶⁵⁾. Henning⁽⁶⁵⁾ konnte zeigen, dass der Spitzendruck sowohl im Stehen als auch beim Gehen über dem Metatarsale III-Köpfchen höher ist als der Spitzendruck über den Köpfen der Metatarsalia I und V.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beim Laufen zwei Druckspitzen auszumachen sind. Zum einen eine Druckspitze an der Ferse zu Beginn der Standphase, zum anderen am Ende der Standphase. Die niedrigsten

Druckwerte zeigen sich im Mittelfuß, wobei auch hier der mediale Teil schwächer belastet ist als der laterale Teil⁽⁷³⁾.

1.8.5. Druckverteilung bei Hallux valgus

Bei Patienten mit Hallux valgus unterscheidet sich das Gangbild und damit verbunden auch die Druckverteilung des Fußes von dem Gangbild fußgesunder Menschen⁽⁷⁴⁻⁷⁶⁾. Hiervon ist nicht nur der Großzehenbereich, sondern der gesamte Vorfußbereich betroffen⁽⁷⁷⁾.

Während bei fußgesunden Menschen das Os metatarsale I während des Abrollvorganges rund 80% der Gewichtsbelastung trägt, ist der Anteil bei Hallux valgus Patienten deutlich geringer⁽⁷⁶⁾.

Wie bereits in vielen Studien gezeigt wurde, kommt es bei Hallux valgus Patienten zu einer vermehrten Belastung des lateralen Vorfußbereiches^(75, 77, 78). Dabei ist die Kraftentwicklung über der Großzehe und dem Os metatarsale V von dem Hallux valgus Winkel abhängig. Wie von Koller et al.⁽⁷⁴⁾ gezeigt wurde, gibt es eine negative Korrelation zwischen dem Hallux valgus Winkel und dem Spitzendruck im Bereich der Großzehe sowie der Maximalkraft im Bereich der Großzehe und der Kontaktzeit der Großzehe. Eine positive Korrelation wird unter anderem zwischen dem Hallux valgus Winkel und der Maximalkraft sowie dem Spitzendruck über dem Köpfchen des Os metatarsale V beschrieben.

Auch das Abrollen über die funktionelle Fußlängsachse ist bei Hallux valgus Patienten nur noch eingeschränkt möglich, was zu einer vermehrten Fehlstellung führt⁽⁵⁷⁾.

2. Material und Methoden

2.1. Studiendesign

Bei dieser Studie handelt es sich um eine nicht randomisierte, prospektive klinische Studie. Der Ethikantrag mit der Nummer 122/2010 1302 wurde vor Beginn der Studie von der zuständigen Ethikkommission genehmigt.

Aus Datenschutzgründen erfolgten sowohl die Datenerhebung als auch die Datenspeicherung nach anerkannten Datenschutzrichtlinien. Dies beinhaltete eine Verschlüsselung der Patientennamen, zu der nur die an der Studie arbeitenden Mitarbeiter der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen Zugriff hatten. Außerdem wurde den Patienten eine individuelle Fallnummer sowie ein Kürzel, bestehend aus dessen Initialen, zugeteilt.

Nach einer ausführlichen Erläuterung des Studienablaufs, einer schriftlichen und mündlichen Aufklärung sowie erfolgtem schriftlichen Einverständnis zur Teilnahme an der Studie und zum Datenschutz nach anerkannten Vorgaben, wurden die Patienten unter Beachten der Ein- und Ausschlusskriterien in die Studie aufgenommen. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig und hatte keine Auswirkungen auf die Operationsindikation oder auf das Operationsverfahren.

2.1.1. Schematische Darstellung des Studienablaufes

Die Studie beinhaltete fünf Termine mit verschiedenen Zeitabständen. Der erste Termin fand ein Tag vor dem geplanten operativen Eingriff statt.

Die sich daran anschließenden postoperativen Termine wurden wie folgt vereinbart:

- 6 Wochen postoperativ (Operationstag + 28 bis 70 Tage)
- 12 Wochen postoperativ (Operationstag + 77 bis 118 Tage)
- 24 Wochen postoperativ (Operationstag + 152 bis 211 Tage)
- 48 Wochen postoperativ (Operationstag + 333 bis 393 Tage)

Die Termine der Studie liefen nach demselben Schema ab.

Am Anfang stand eine kurze Anamnese, eine Inspektion sowie eine klinische Untersuchung, gefolgt von der Auswertung eines Röntgenbildes (nur präoperativ, 6 Wochen postoperativ sowie 48 Wochen postoperativ) sowie das Ausfüllen der Fragebögen SF-36 und AOFAS-Score und einer pedobarographischen Messung auf einem Laufband.

2.1.2. Anamnese, Inspektion und klinische Untersuchung

Im Rahmen der Anamnese wurden Daten zum Analgetikabedarf und zum Schmerzempfinden gestellt. Das Schmerzempfinden wurde nach der Visuellen Analogskala (VAS)-Skala quantifiziert. Hier konnte der Patient zwischen Gesichtern unterschiedlicher Mimik wählen. Der Schmerzgrad konnte anhand einer sich auf der Rückseite befindenden numerischen Skala von 0 bis 100 graduiert werden. Der Wert 0 entsprach einem lachenden Gesicht, was keinem Schmerz entsprach. Ein Wert von 100 hingegen entsprach dem stärksten vorstellbaren Schmerz und wurde mit einem schmerzverzerrtem Gesicht bildlich dargestellt. Auch Fragen zur subjektiven Patientenzufriedenheit, zur Funktion und zum Aussehen des Großzehengrundbereiches stellten einen Teil der Anamnese dar. Abschließend wurde die maximal schmerzfreie Gehstrecke in Minuten, die Art des Schuhwerkes (Konfektionsschuh, Maßschuh, Verbandsschuh), die Art der Belastung (Voll- oder Teilbelastung) sowie das Tragen von Einlagen erfasst.

Bei der sich daran anschließenden Inspektion wurden die Parameter Deformität, Schwellung, Überwärmung, Rötung und das Gangbild (plantigrad oder Abrollen über Fußaußenrand) beim barfuß laufenden Patienten erfasst.

Bei der klinischen Untersuchung wurde das aktive und passive Bewegungsausmaß (Grad) sowie der aktive und passive Bewegungsumfang (Grad) im Großzehengrundgelenk mit Hilfe eines medizinischen Winkelmessers erhoben. Die eine Gerade des Winkelmessers wurde auf den ersten Metatarsalknochen gelegt, die zweite Gerade auf die proximale Phalanx des Hallux. Die Winkelspitze wurde auf das Großzehengrundgelenk gelegt. Die Messung des passiven Bewegungsausmaßes (Grad) fand mit zusätzlicher manueller Unterstützung zur aktiven Beweglichkeit durch den Untersucher statt.

2.1.3. Radiologische Untersuchung

Im Rahmen der ärztlichen Untersuchung in der Ambulanz der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen, welche sowohl bei dem präoperativen Termin, der 6 Wochenkontrolle und dem 48 Wochentermin stattfand, wurde vom

behandelnden Arzt in der Ambulanz der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen die Aufnahme eines Röntgenbildes des Vorfußes unter Belastung in 2 Ebenen, anterior-posterior und streng seitlich, veranlasst.

Aus diesen Röntgenbildern wurden die für die Studie relevanten Parameter entnommen.

Die im Rahmen der Studie relevanten Parameter der präoperativen Röntgenaufnahme waren:

1. Hallux–valgus–Winkel (Grad)
2. Intermetatarsale Winkel (Grad)

Die durch die Röntgenaufnahme 6 Wochen postoperativ und 48 Wochen postoperativ erfassten Parameter und Merkmale waren:

1. Hallux – valgus – Winkel (Grad)
2. Intermetatarsale Winkel (Grad)
3. Lockerungszeichen/Materialbruch (falls vorhanden genauere Beschreibung)

Falls eine Großzehengrundgelenksarthrodese als Operation gewählt wurde, wurde zusätzlich zu den oben genannten Parametern der dorsale Arthrodesenwinkel (Grad) bestimmt und die knöcherne Durchbauung, falls vorhanden, dokumentiert.

Um den Patienten keiner zusätzlichen Strahlenbelastung auszusetzen, wurde sowohl bei der Studienkontrolle 12 Wochen postoperativ als auch 24 Wochen postoperativ auf Röntgenaufnahmen verzichtet.

2.1.4. AOFAS-Score Fragebogen

Der funktionell-klinische AOFAS („American Orthopaedic Foot and Ankle Society“)-Fragebogen ermöglichte eine standardisierte Bewertung des Vorfußes (siehe Anhang Seite 81).

Erfasst wurden neben dem Schmerzempfinden, der Aktivitätseinschränkung und der Art des Schuhwerkes eine Vielzahl klinischer Aspekte, darunter die

Beweglichkeit des Metatarsophalangeal- und Intermetatarsalgelenkes I, dessen Stabilität sowie die optische Ausrichtung des Os metatarsale I bzw. der Großzehe. Mit Hilfe der gegebenen Antworten wurde ein Score erstellt (mögliche Punkte: 4-100). Es konnte ein minimaler Wert von 4 und ein maximaler Wert von 100 bei Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie und Resektionsarthroplastik erreicht werden. Der postoperativ maximal mögliche AOFAS-Score für die Großzehengrundgelenksarthrodese betrug 90.

2.1.5. Pedobarographische Messung am Laufband

Die Druckmessung wurde, wie in Abbildung 1 dargestellt, mit dem Laufband Ergo-Run Medical 8^(79, 80) und dem Kraftverteilungsmesssystem WinFDM – T Version 2.0.39⁽⁸¹⁾ durchgeführt.

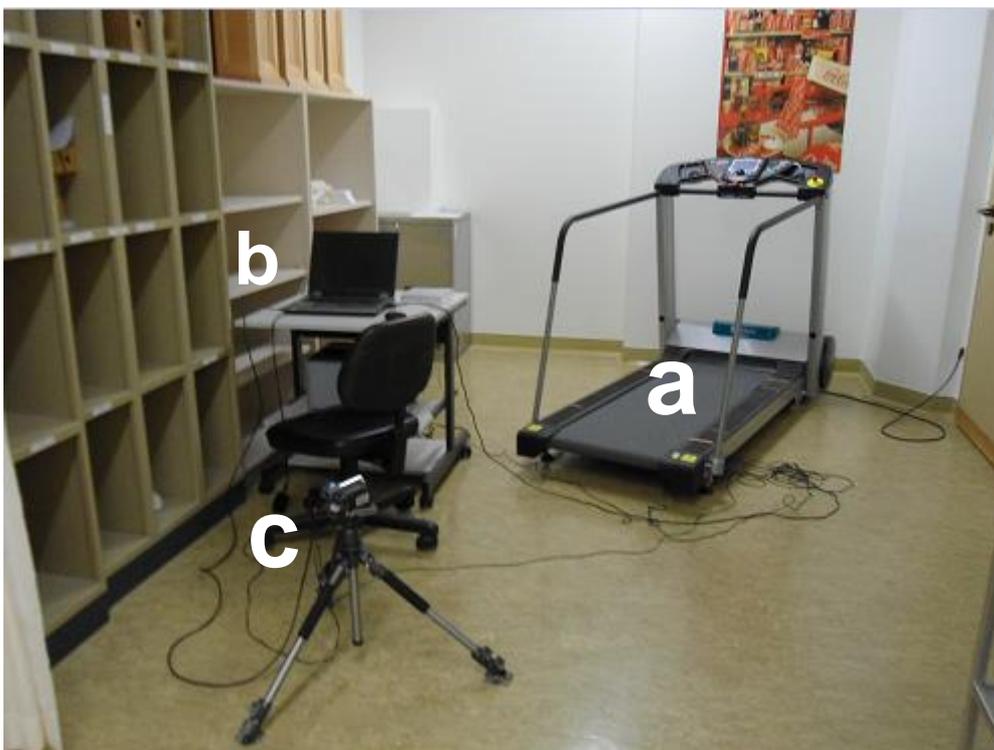


Abbildung 1: Versuchsaufbau der Messapparatur. Von hinten rechts nach vorne links: a: Laufbandergometer Ergo-Run Medical8 (Daum Electronic GmbH)^(79, 80) mit integrierter Kraft- und Druckmessplatte, b: Computer mit Kraftverteilungsmesssystem WinFDM-T Version 2.0.39 (Zebris Medical GmbH)⁽⁸¹⁾, c: Videokamera Canon MD216.

Der Patient wurde gebeten, in Socken und mit bis zu den Knien hochgeschlagenen Hosen auf das Laufband zu stehen.

Zunächst wurde ein Sicherheitsstecker an der Kleidung des Patienten befestigt. Dieser führte zu einer automatischen Abschaltung des Laufbandes, falls der Patient zu weit nach hinten gelangen würde und sorgte so für dessen Sicherheit während der Messung.

Im nächsten Schritt wurde der Patient angewiesen, beim Einschalten des Laufbandes mit seinem normalen Gang zu laufen und sich nach Möglichkeit nicht an den am Laufband seitlich angebrachten Führungsstäben festzuhalten, auf- oder abzustützen. Auf diese Weise sollte der normale Gang möglichst realitätsgetreu imitiert werden und Verfälschungen der Messergebnisse vorgebeugt werden.

Im Falle starker Gangunsicherheiten, die auch nach längerem Einlaufen bestehen blieben, einer (dadurch drohenden) Sturzgefahr oder bei Äußerungen des Patienten über Bedenken bezüglich der eigenen Sicherheit, wurde dem Patienten ein seitliches Auflegen der Hände auf die Führungsstäbe gestattet. Im Rahmen dieser Studie hatten sich die Patienten, die zur statischen Analyse herangezogen wurden (n=18), in 39% der Messungen seitlich an den Haltestäben stabilisiert. Postoperativ kam es hierbei zu einer stetigen Abnahme. Während sich 7 Patienten präoperativ festgehalten haben, stieg die Zahl 6 Wochen postoperativ auf 9 Patienten an. 3 Monate und 6 Monate postoperativ stabilisierten sich nur noch 6 Patienten. Bei der Jahreskontrolle nutzten nur noch 3 Patienten die seitlich angebrachten Führungsstäbe. Betrachtet man das gesamte Patientengut, haben sich ebenfalls wie in der Dissertationsschrift von Frau Schiek⁽¹¹⁾ nachgewiesen wurde, 39% der Patienten seitlich stabilisiert.

Dass zirka ein Drittel der Patienten die seitlich angebrachten Führungsstäbe genutzt haben, hat gezeigt, dass insbesondere direkt postoperativ eine gewisse Unsicherheit beim Gehen auf dem Laufband bestand.

Des Weiteren wurde der Patient darum gebeten, zwischen zwei silbernen Markierungen zu laufen.

Nach dem Start des Laufbandes wurde die Geschwindigkeit in kleinen Schritten (je nach Gangsicherheit des Patienten) von 0 km/h auf eine Endgeschwindigkeit von 3,6 km/h gesteigert. Die Steigung betrug hierbei konstant 0%. Soweit von Patientenseite möglich, wurden nach Erreichen der Endgeschwindigkeit 2x 10-20 Schritte auf dem Laufband gelaufen.

Die Druckwerte wurden mit der Software WinFDM-T Version 2.0.39⁽⁸¹⁾ aufgezeichnet.

Die komplette Messung wurde zusätzlich durch die Kamera Canon MD216 in bildlicher Form dokumentiert.

2.2. Patientenkollektiv

In einem Zeitraum von 19 Monaten, der sich von August 2010 bis Februar 2012 erstreckte, wurden insgesamt 66 Patienten in die Studie eingeschlossen. Diese verteilten sich auf die einzelnen Operationsformen wie folgt: Chevron-Osteotomie n=20, Basisosteotomie n=24, Großzehengrundgelenksarthrodese n=14, Resektionsarthroplastik n=7, Doppelosteotomie n=1.

Im weiteren Verlauf der Studie wurden die postoperativen Kontrollen von einigen Patienten nicht mehr wahrgenommen (siehe Tabelle 1). Von den ursprünglich 66 eingeschlossenen Patienten nahmen 43 Patienten den Termin 24 Wochen postoperativ und 18 Patienten den Termin 48 Wochen postoperativ wahr.

Da das Hauptaugenmerk dieser Studie auf dem Vergleich zwischen den vor der Operation erhobenen Maximaldruckwerten und den postoperativ gemessenen Maximaldruckwerten liegt, wurden diejenigen Patienten, von denen nur Maximaldruckdaten aus der präoperativen Untersuchung zur Verfügung standen, aus dem Datenpool entfernt. Auch Patienten, bei denen die Studientermine nicht vollständig wahrgenommen wurden, wurden gemäß dem Prüfplan aus der Studie ausgeschlossen. Die Daten der Patienten, die operativ mit einer Resektionsarthroplastik versorgt wurden, wurden aus zweierlei Gründen aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Zum einen war die

Fallzahl dieser Patienten sehr gering (n=7) und zum anderen wurden fünf Patienten unter Berücksichtigung der Datenselektion aus der statistischen Analyse herausgenommen, sodass nur noch Daten von 2 Patienten zur statistischen Auswertung zur Verfügung gestanden hätten. Die Patientin, die operativ mit einer Doppelosteotomie versorgt wurde, wurde ebenfalls aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Die hohe drop-out Rate 48 Wochen postoperativ führte dazu, dass nur die Daten bis zum 24 Wochen postoperativen Termin für die statistische Analyse herangezogen wurden. Druckwerte mit mehr als der doppelten Standardabweichung von dem ermittelten Mittelwert und/oder mit Werten $<0,1 \text{ N/cm}^2$ wurden auch aus der statistischen Analyse ausgeschlossen.

All diese Gegebenheiten führten dazu, dass der Datensatz bezüglich des Maximaldruckes nur von 18 der ursprünglich 66 eingeschlossenen Patienten zur statistischen Auswertung herangezogen wurde. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde der AOFAS-Score auch nur von denselben 18 Patienten verwendet. Das durchschnittliche Alter der 18 Patienten betrug $56,7 \pm 6,3$ Jahre. Das maximale Alter betrug 67 Jahre, das minimale Alter 43 Jahre. Alle Patienten waren weiblich. Der Hallux valgus konnte bei 8 Patienten am rechten Fuß, bei 10 Patienten am linken Fuß festgestellt werden.

Tabelle 1: Anzahl der Studienteilnehmer zu den einzelnen Untersuchungsterminen.

Dargestellt ist die Anzahl der Patienten, die jeweils an den einzelnen Studienterminen präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ, 24 Wochen postoperativ und 48 Wochen postoperativ teilgenommen haben. n: Anzahl der Patienten, COT: Chevron-Osteotomie, BOT: Basisosteotomie, GZGGA: Großzehengrundgelenksarthrodese, RAP: Resektionsarthroplastik, DOT: Doppelosteotomie.

	Patientenanzahl				
	präoperativ	6 Wochen postoperativ	12 Wochen postoperativ	24 Wochen postoperativ	48 Wochen postoperativ
COT	n= 20	n= 18	n= 17	n= 16	n= 9
BOT	n= 24	n= 20	n= 15	n= 16	n= 6
GZGGA	n= 14	n= 12	n= 10	n= 8	n= 1
RAP	n= 7	n= 4	n= 2	n= 3	n= 2
DOT	n= 1	n= 0	n= 0	n= 0	n= 0

2.3. Ein- und Ausschlusskriterien

Im Folgenden sind die Ein- und Ausschlusskriterien gemäß dem Prüfplan dieser Studie aufgeführt. Ursprünglich wurden diese von Prof. Wünschel⁽⁸²⁾ im Rahmen der Studie „Großzehengrundgelenksarthrodese versus Totalendoprothetischer Gelenkersatz – eine prospektiv randomisierte Studie bei Hallux rigidus“ der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen entworfen und für diese Studie übernommen.

Einschlusskriterien

1. Männlich oder weiblich, Alter 18 bis einschließlich 80 Jahre.
2. Indikation zu einer Vorfußoperation im Sinne einer Basisosteotomie mit distalem Weichteileingriff, Chevron-Osteotomie, Resektionsarthroplastik oder Großzehengrundgelenksarthrodese.
3. Der Patient stimmt einer Teilnahme an der Studie durch Unterzeichnung und Datierung der Einwilligungserklärung zu.
4. Der Patient steht für ein Follow-up von mindestens 6 Monaten nach der Operation zur Verfügung.
5. Der Patient befindet sich in einem stabilen gesundheitlichen Zustand und weist keine kardiale, pulmonale, hämatologische oder andere Erkrankungen auf (bzw. wird auf diese behandelt), die ein unannehmbar hohes Operationsrisiko darstellen würden.

Ausschlusskriterien

1. Patienten mit bekannter unzureichender Knochensubstanz auf Grund von Erkrankungen wie Krebs, Stoffwechselstörungen, die zu Gewebeverkalkungen führen. Patienten mit bestimmten physischen Zuständen wie krankhaftem Übergewicht (BMI > 30).
2. Patienten mit aktiven lokalen oder systemischen Infektionen/entzündlichen Erkrankungen.

3. Patienten, die am MTP-Gelenk voroperiert sind.
4. Schwangerschaft (Ausschluss per Anamnese und bei Bedarf per Schwangerschaftstest).
5. Patienten, bei denen die Fußpulse nicht tastbar sind und diese sich nicht dopplersonographisch nachweisen lassen.
6. Patienten mit einem veränderten Gangbild auf Grund einer Erkrankung der unteren Extremitäten (z.B. schwere Arthrose, Zustand nach Amputation, neurologische Ausfälle).

2.4. Abbruchkriterien

Ein operationsbedingter Studienabbruch ist auf Grund studienunabhängiger Operationsindikation und -verfahren weniger zu erwarten gewesen.

Vielmehr führten folgende Sachverhalte gemäß dem Prüfplan zur vorzeitigen Beendigung der Studie:

1. Auftreten von Komplikationen, die durch nicht studiengerechtes Verhalten verursacht werden (vorzeitiges Abtrainieren des Verbandschuhs mit dem evt. damit verbundenen Implantatversagen, Pseudarthrosenbildung, Lockerungen, etc.)
2. Wundheilungsstörungen und Infekte durch unsachgemäßes Verhalten (Baden bei noch einliegendem Nahtmaterial oder vorzeitige Entfernung des Nahtmaterials)
3. wiederholtes Nichterscheinen zu den Kontrollterminen

2.5. Patientenrekrutierung

Die Studienteilnehmer wurden dem Operationsplan entnommen.

In einem Telefonat wurden dem Patienten die Grundlagen und Ziele der Studie dargelegt. Erfüllte der Patient die Einschlusskriterien, wurde ein persönliches Gespräch vereinbart. Der Termin hierzu wurde im Anschluss an den Termin zur Operationsvorbereitung in der orthopädischen Ambulanz vereinbart.

Die freiwillige Teilnahme an der Studie erfolgte nach erneuter Aufklärung und schriftlichem Einverständnis zur Teilnahme an der Studie und zum Datenschutz nach anerkannten Vorgaben durch einen Arzt. Die Indikation zur Operation wurde unabhängig von der Studie gestellt.

2.6. Messapparatur

Die in dieser Studie für die pedobarographische Laufbandanalyse verwendete Messapparatur setzte sich, wie in Abbildung 1 auf Seite 26 dargestellt, aus folgenden Komponenten zusammen:

1. einem Laufbandergometer Ergo-Run Medical 8 der Firma „Daum Electronic GmbH“^(79, 80)
2. einem Kraftverteilungsmesssystem der Firma „Zebris Medical GmbH“^(81, 83, 84)
3. einem Computer
4. einer Videokamera MD 216 der Firma Canon

2.6.1. Das Laufbandergometer und das Kraftverteilungsmesssystem WinFDM-T

Die pedobarographischen Messungen dieser Studie wurden mit dem Laufbandergometer mit dem Handelsnamen Ergo-Run Medical 8 der Firma Daum Electronic GmbH^(79, 80) durchgeführt (Abbildung 2). Das Laufband besaß eine Lauffläche von 150 x 50 cm und war für eine maximale Belastung von 160 kg ausgelegt. Die Geschwindigkeit konnte in 0,1 km/h – Schritten bis zu einer Maximalgeschwindigkeit von 22 km/h hochreguliert werden, auch während einer laufenden Messung. Die minimale Geschwindigkeit des Laufbandes betrug 0,5 km/h. Die Steigung konnte in einem Bereich von -2% bis 15% in 0,5%-Schritten eingestellt werden. Die beiden seitlich des Laufbandes angebrachten Führungsstangen dienten, falls notwendig, der Stabilisierung des Patienten während des Gehens auf dem Laufband. Das Laufband konnte notfallmäßig über einen Notausknopf oder über eine Schnur ausgeschaltet werden. Unter der Lauffläche des Ergometers war ein Kraftverteilungsmesssystem WinFDM-T Version 2.0.39 der Firma Zebris Medical GmbH^(81, 85)

angebracht. Dieses bestand aus mehr als 5000 Druck- bzw. Kraftsensoren mit einer Ortsauflösung von 1,4 Sensoren/cm². Mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ des Endwertes wurde der Druck in einem Messbereich zwischen 1 bis 20 N/cm² erfasst. Der dafür minimal notwendige Druck war 1 N/cm²⁽¹¹⁾.



Abbildung 2: Laufbandergometer. Alle Messungen dieser Studie wurden mit dem Laufbandergometer Ergo-Run Medical 8 der Firma Daum Electronic GmbH^(79, 80) mit integrierten Kraft- und Druckmessplatten der Firma Zebris Medical GmbH durchgeführt. a: Führungsstäbe, b: Notausknopf.

2.6.2. Software WinFDM-T

Die dynamische Kraft- und Druckverteilung während des Gehens wurde mit der Software WinFDM-T Version 2.0.39 analysiert und durch weitere, durch die Software ermittelte Parameter, bestimmt. Durch unterschiedlich starke Druckeinwirkung (N/cm²) während des Abrollvorganges auf einzelne Sensoren, konnten farbige Druckbilder erstellt werden (siehe Anhang Seite 82).

Eine automatische Zuordnung einzelner Abrollvorgänge des linken und rechten Fußes wurde durch die Software gewährleistet. Zur Kalibrierung war vor Beginn der Messung eine Nullmessung erforderlich. Das Starten und Beenden einer Messung wurde über den PC per Mausklick gesteuert. Die Ergebnisse dieser Messung, Maximaldruckbilder des Abrollvorganges und ganganalytische Parameter wurden als Report am Ende der Messung angezeigt (siehe Anhang Seite 82-84). Dieser Report konnte im ASCII sowie im APD-Format exportiert werden, wodurch die Daten zur Druckmessung in einer Excel-Tabelle zur Auswertung mit dem Maskenalgorithmus verwendet werden konnten.

2.6.3. Videokamera

Bei der in der Studie verwendeten Kamera handelte es sich um eine Canon MD216 – Kamera. Die Aufzeichnungen wurden zeitsynchron auf den PC übertragen und konnten auf der Bildschirmoberfläche des Computers parallel zur Messung angeschaut werden.

2.6.4. Maskenprogramm (Matlab)

Im Zentrum unseres Interesses stand die Erfassung der Maximaldruckwerte über Metatarsale I (MT1), Metatarsale II/III (MT23) und Metatarsale IV/V (MT45) während des Abrollvorganges im postoperativen Zeitverlauf (6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ, 24 Wochen postoperativ und 48 Wochen postoperativ). Hierzu wurden die Rohdaten der APD-Datei, in welcher die Druckdaten in einer Matrix dargestellt wurden, verwendet. Das Programm erkannte nun die Übergänge von $\leq 0 \text{ N/cm}^2$ auf $> 0 \text{ N/cm}^2$ und erstellte damit den Umriss des Abrollvorganges des Fußes in Form eines Rechteckes (Abbildung 3). Die Fläche dieses Rechtecks orientierte sich an dem äußersten lateralen, äußersten medialen, äußersten anterioren und äußersten posterioren Druckwert $> 0 \text{ N/cm}^2$. Der Fuß bzw. die Rechteckfläche wurde, wie in Abbildung 3 dargestellt, in 12 Felder unterteilt. In den Feldern eins bis drei wurden die Druckwerte der Zehen, in den Feldern vier bis sechs MT1, MT23 und MT45 dargestellt. Der Mittelfuß wurde in Feld sieben bis neun, die Ferse in Feld 10 bis 12 abgebildet. Die Anordnung der Felder des linken Fußes erfolgt spiegelbildlich zum rechten Fuß.

Jedes dieser Felder wurde wiederum in mehrere Unterfelder zur genaueren Graduierung der Druckstärke unterteilt. Dies wurde anhand einer Farbskala dargestellt, wobei blau für schwachen Druck (N/cm²), rot für starken Druck (N/cm²) stand. Die Computeransicht des Maskenprogrammes Matlab ist in Abbildung 4 dargestellt. Zu beachten war hierbei, dass abweichende Fußformen oder Fußstellungen sowie fehlende Belastungen einzelner Strukturen des Fußes zu einem Rechteck geführt haben, welches nicht dem eigentlichen Umriss des Fußes entsprach. Dies war vor allem, bei der sechs Wochen postoperativen Kontrolle der Fall. Bei dieser Studienkontrolle ist der Patient zum ersten Mal ohne Verbandschuh gelaufen. Die Zehen wurden nicht belastet.

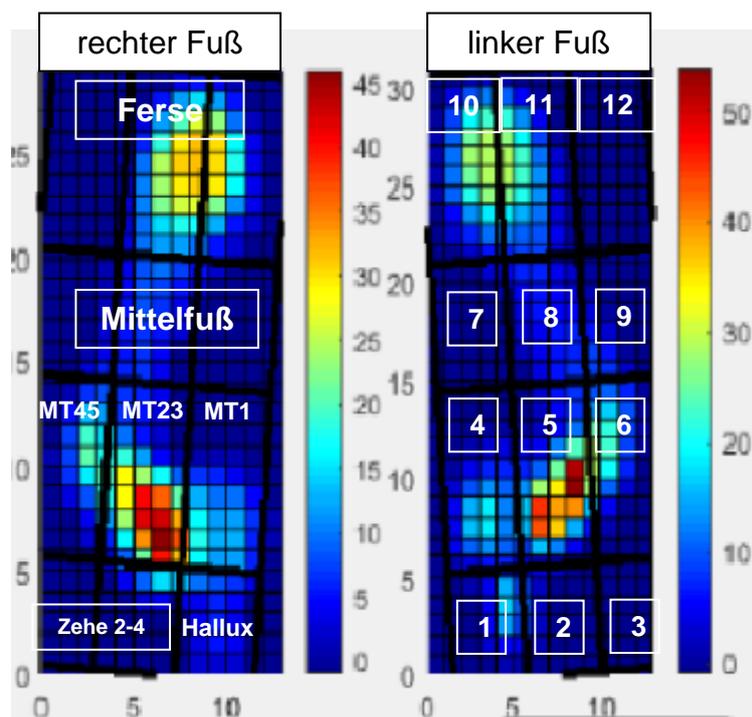


Abbildung 3: Darstellung der Druckverteilung während des Abrollvorganges.

Beispielhafte Darstellung der Druckverteilung während des Abrollvorganges für jeweils den rechten und linken Fuß eines Patienten. Feld 1-3: Zehen, Feld 4-6: Metatarsalia, Feld 7-9: Mittelfuß, Feld 10-12: Ferse. Die Anordnung des rechten Fußes erfolgte spiegelbildlich zum linken Fuß. Die verschiedenen Druckwerte sind farbig hinterlegt: blau steht für geringe Druckwerte (N/cm²), rot für starke Druckwerte (N/cm²). Anhand einer Farbskala können die verschiedenen Farbtöne einem Druckwert in N/cm² zugeordnet werden.

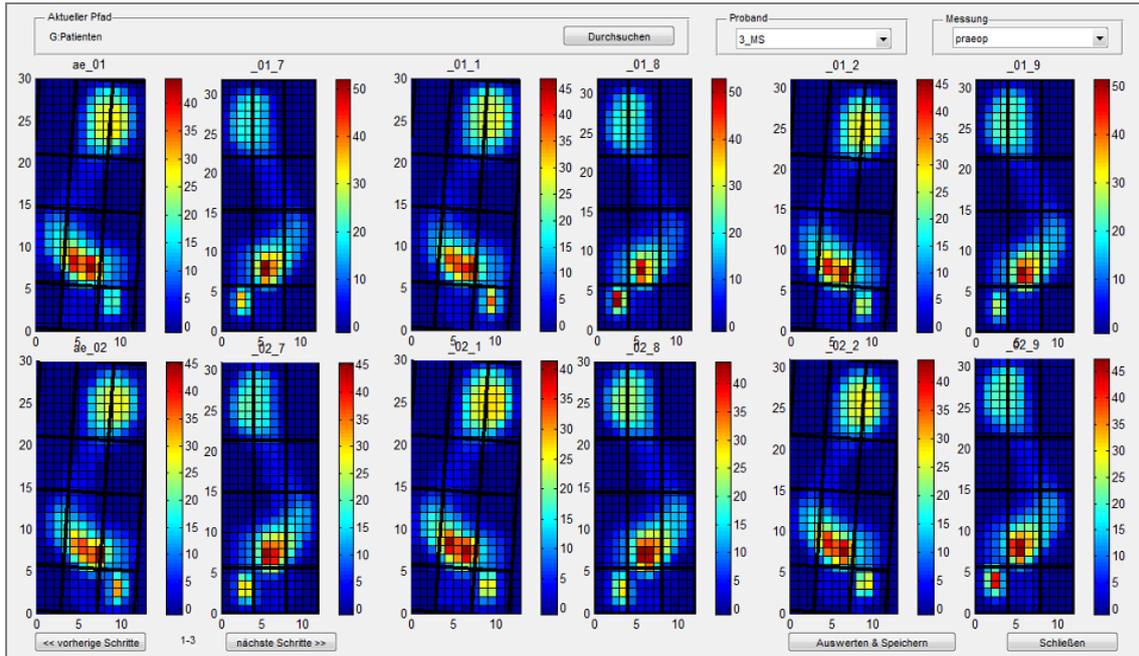


Abbildung 4: Übersicht der Computeransicht von Matlab am Beispiel von Patient 3_MS, präoperative Messung. Zu sehen sind jeweils 3 Abrollvorgänge des rechten und linken Fußes pro Zeile. Pro Messung wurden jeweils zweimal 10-20 Schritte durchgeführt. In der oberen Reihe werden die Abrollvorgänge der 1. Messreihe, in der unteren Reihe die Abrollvorgänge der 2. Messreihe dargestellt. Mit den Button „vorherige Schritte“ und „nächste Schritte“ können die nachfolgenden bzw. vorherigen Schritte angezeigt werden. Unter dem Button „Probant“ kann der jeweilige Patient, unter dem Button „Messung“ der Messzeitpunkt (präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ, 24 Wochen postoperativ und 1 Jahr postoperativ) ausgewählt werden.

2.7. Datenverarbeitung

2.7.1. Datensammlung, Datenspeicherung und Datenauswertung

Die im Rahmen der Studie erhobenen anamnestischen, klinischen und radiologischen Daten wurden, ebenso wie die Daten der Fragebögen AOFAS-Score und SF-36, zunächst in Papierform festgehalten und anschließend in eine Excel-Tabelle übertragen.

Die Daten der plantaren Druckverteilung inklusive Maximaldruckwerte sowie die verschiedenen ganganalytischen Parameter wurden in der Datenbank der WinFDM- T Software⁽⁸¹⁾ gespeichert. Außerdem wurden die Daten der Druckwerte in Form von ADP- Dateien auf die Festplatte des Computers exportiert. Die Daten der ganganalytischen Parameter hingegen wurden aus dem ASCII- Export in eine Excel- Tabelle übertragen.

Die Auswertung der Maximaldruckwerte sowie der Daten aus dem AOFAS-Score Fragebogen erfolgte sowohl mit Excel als auch mit dem Statistikprogramm software package R.

2.8. Statistische Auswertung

Von den ursprünglich 66 eingeschlossenen Patienten wurden die Daten von 18 Patienten (Chevron-Osteotomie n=7, Basisosteotomie n=7, Großzehengrundgelenksarthrodese n=4) für die statistische Analyse der Daten verwendet.

Die komplette statistische Analyse wurde mit Hilfe des Programmes software package R. durchgeführt.

2.8.1. Deskriptive Statistik

Die Varianzanalyse zur statistischen Auswertung des Spitzendruckes und des AOFAS-Scores wurde mit Hilfe ANOVAs („Analysis Of Variance“) mit Messwiederholung („mixed model ANOVAs“) durchgeführt.

Hierzu standen für die statistische Analyse des Spitzendruckes die Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ) und Metatarsale (Metatarsale I, Metatarsale II/III und Metatarsale IV/V) sowie die Zwischensubjektfaktoren Operationsart (Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie und Großzehengrundgelenksarthrodese) zur Verfügung. Der Spitzendruck war definiert als größter gemessener Wert innerhalb eines Pixels in der beschriebenen Region (N/cm²).

Auch zur statistischen Auswertung der Ergebnisse des AOFAS-Scores wurde eine Varianzanalyse nach dem mixed-model ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (präoperativ, 6 Wochen, 12 Wochen und 24 Wochen) und den Zwischensubjektfaktoren Operationsart (Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie und Großzehengrundgelenksarthrodese) durchgeführt.

Um die Ergebnisse auf Sphärizität zu prüfen, wurde der Mauchly Test angewendet. Falls notwendig, wurden die im Rahmen dieser Auswertung ermittelten p-Werte der zugehörigen ANOVA Greenhouse-Geisser korrigiert. Desweiteren wurden Bonferroni-korrigierte post-hoc t-Tests durchgeführt, um Typ I Fehler, die bei multiplem Testen vorkommen, abzuschwächen.

2.8.2. Signifikanztest

Alle durchgeführten Signifikanztests sind zweiseitig mit einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$.

3. Ergebnisse

3.1. Maximaldruckwerte im postoperativen Verlauf

3.1.1. Darstellung des Maximaldruckes

Die statistische Analyse des Maximaldruckes wurde mit Hilfe des mixed-model ANOVA durchgeführt. Hierbei konnte bezüglich des Messzeitpunktes eine statistische Signifikanz ($p<0,001$) nachgewiesen werden. Daraus lässt sich folgern, dass es im postoperativen Verlauf zu einer Änderung der plantaren Spitzendruckwerte gekommen ist. Im Allgemeinen kann man sagen, dass der plantare Spitzendruck im Vergleich zu den präoperativ gemessenen Werten 6 Wochen postoperativ abgefallen ist. 12 Wochen und 24 Wochen postoperativ kam es jedoch wieder zu einem Anstieg des plantaren Spitzendruckes.

3.1.2. Darstellung des Maximaldruckes in den Bereichen MT1, MT23 und MT45

Anhand des mixed-model ANOVA konnte in der statistischen Analyse ein signifikanter Zusammenhang zwischen Messzeitpunkt und Vorfußbereich ($p<0,001$) gezeigt werden. Das heißt, dass es in den verschiedenen Vorfußbereichen zu einer unterschiedlichen Entwicklung des plantaren Spitzendruckes zu den verschiedenen postoperativen Messzeitpunkten gekommen ist (Abbildung 5).

Ebenfalls konnte auch gezeigt werden, dass in den unterschiedlichen Vorfußbereichen unterschiedliche plantare Spitzendruckwerte gemessen wurden ($p < 0,001$).

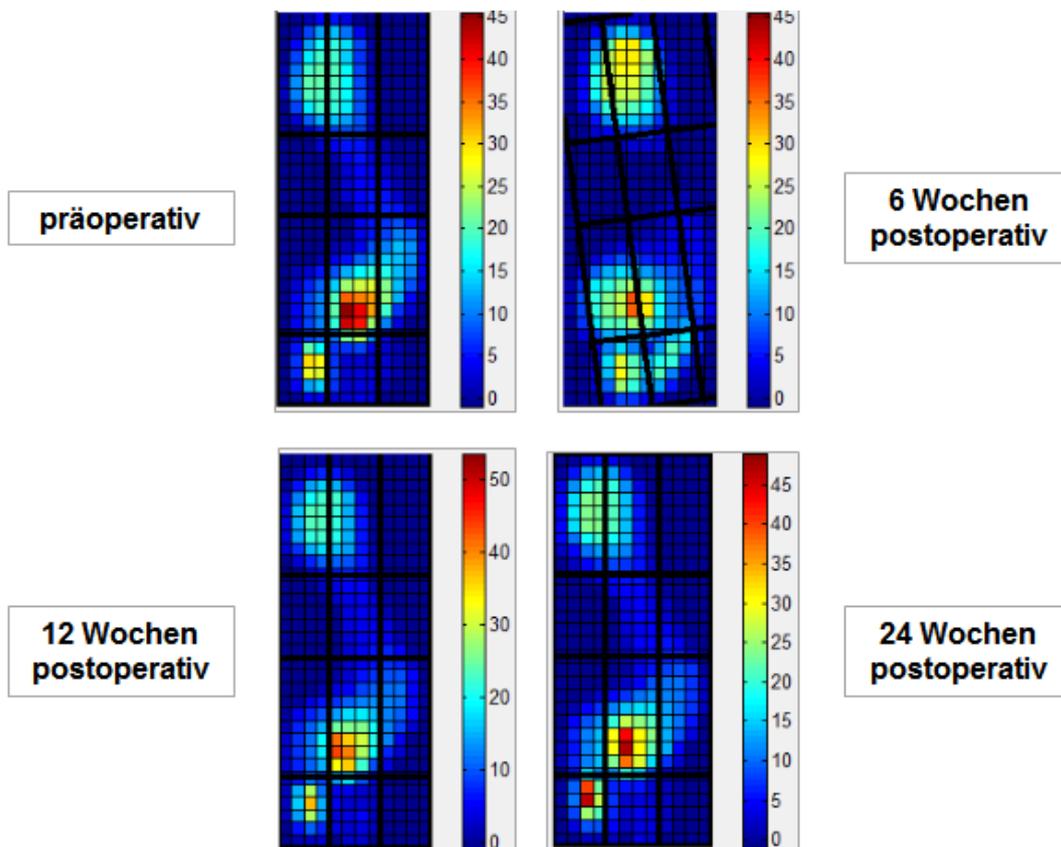


Abbildung 5: Übersicht der Druckentwicklung am Beispiel des Patienten 3_MS (Chevron-Osteotomie links) zu den verschiedenen Messzeitpunkten. Über MT1 und MT23 zeigte sich 6 Wochen postoperativ ein Abfall des Mittelwertes des Maximaldruckes (N/cm^2). 12 Wochen postoperativ und 24 postoperativ kam es wieder zu einem Anstieg des Mittelwertes des Maximaldruckes (N/cm^2) auf das präoperativ gemessene Niveau. Über MT45 blieb der Mitteldruck des Maximalwertes (N/cm^2) weitestgehend konstant.

Maximaldruck über MT1

In Bezug auf den plantaren Spitzendruck zeigte sich, wie in Tabelle 2 und Abbildung 6 dargestellt, im medialen Vorfußbereich (MT1) ein signifikanter Abfall des plantaren Spitzendrucks von 29,46 N/cm² ($\pm 9,16$) präoperativ auf 9,75 N/cm² ($\pm 9,99$) 6 Wochen postoperativ ($p < 0,001$). Anschließend zeigte sich ein erneuter signifikanter Anstieg des Mittelwertes des Maximaldruckes auf 18,64 N/cm² ($\pm 10,33$) ($p < 0,20$) 12 Wochen postoperativ und 26,01 N/cm² ($\pm 10,13$) ($p > 0,20$) 24 Wochen postoperativ.

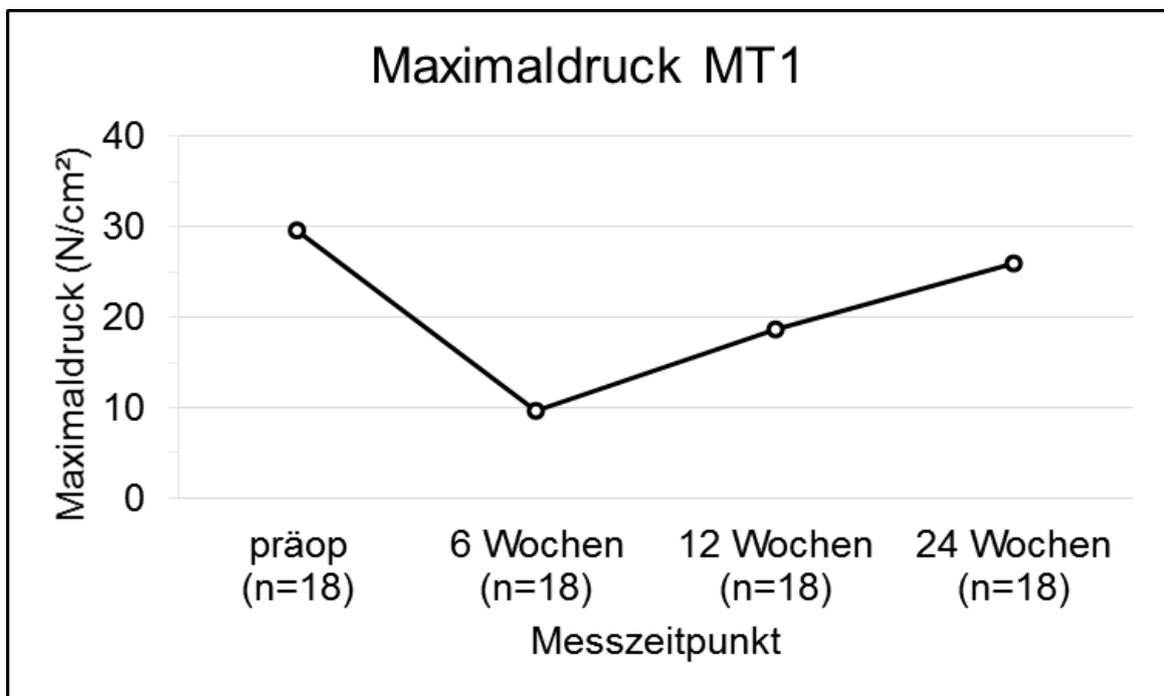


Abbildung 6: Mittelwerte der Maximaldruckwerte (N/cm²) über MT1.

Dargestellt ist der Verlauf der Mittelwerte der Maximaldruckwerte (N/cm²) über MT1 zu den verschiedenen Messzeitpunkten präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ. MT: Metatarsale, n: Patientenzahl.

Maximaldruckwerte im Bereich MT23

Es zeigte sich ein signifikanter Abfall des Mittelwertes des Maximaldruckes im Bereich MT23 von 38,31 N/cm² ($\pm 11,40$) präoperativ auf 17,41 N/cm² ($\pm 9,21$) 6 Wochen postoperativ ($p < 0,001$). Wie auch im Bereich MT1 ist ein erneuter signifikanter Anstieg 12 Wochen (29,00 N/cm² $\pm 8,09$) ($p > 0,20$) und 24 Wochen (36,66 N/cm² $\pm 7,27$) ($p > 0,20$) postoperativ zu verzeichnen (Abbildung 7, Tabelle 2).

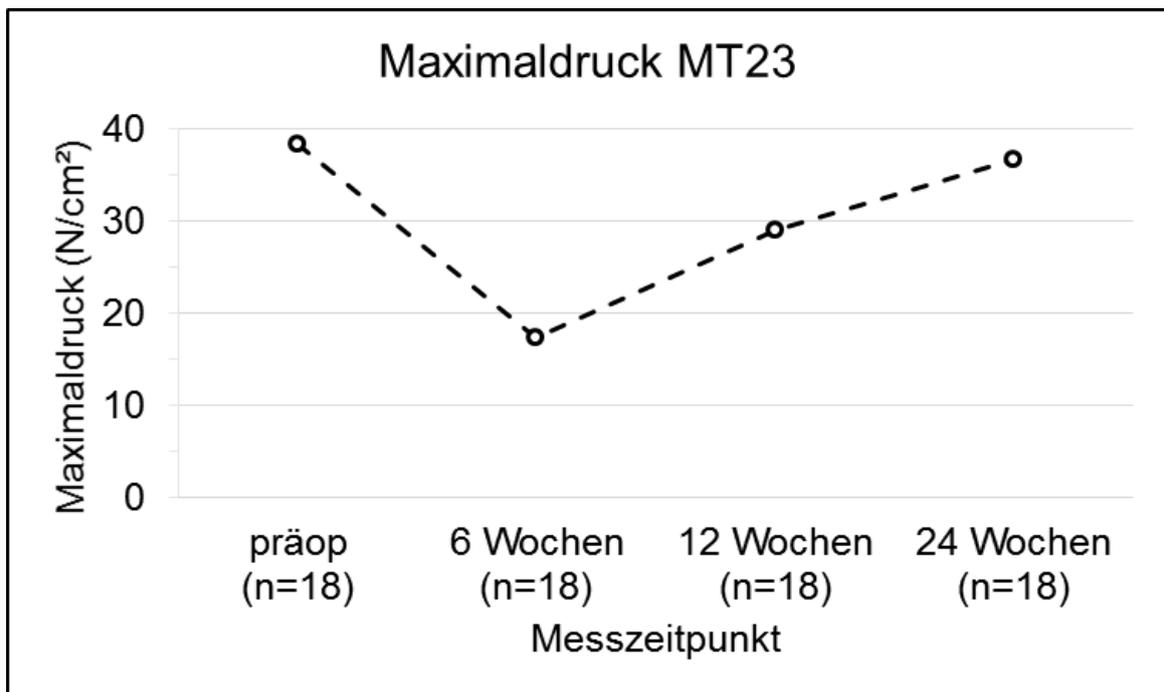


Abbildung 7: Mittelwerte der Maximaldruckwerte (N/cm²) über MT23.

Darstellung der Mittelwerte des Maximaldruckes (N/cm²) über MT23 zu den Messzeitpunkten präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ. MT: Metatarsale, n: Patientenzahl.

Maximaldruckwerte im Bereich MT45

Der Mittelwert des Maximaldruckes zeigte sich präoperativ mit 20,30 N/cm² (\pm 7,25) im Bereich MT45 geringer als im Bereich MT1 und MT23 (siehe Abbildung 8, Tabelle 2). 6 Wochen postoperativ blieb der Mittelwert des Maximaldruckes mit 18,66 N/cm² (\pm 10,33) weitestgehend konstant. Von 6 Wochen postoperativ nach 12 Wochen postoperativ konnte ein signifikanter Anstieg ($p < 0,05$) auf 26,72 N/cm² (\pm 10,71) gemessen werden. 24 Wochen postoperativ kam es zu einem nicht signifikanten Abfall des plantaren Spitzendruckes auf 25,38 N/cm² \pm 8,42.

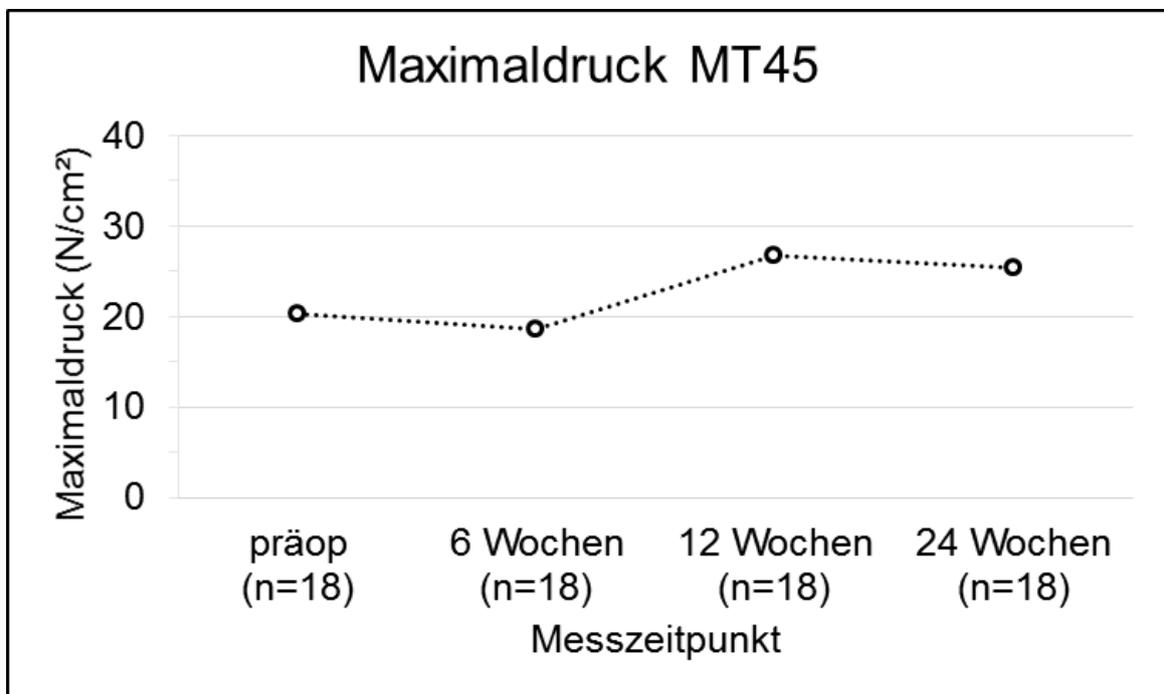


Abbildung 8: Mittelwerte der Maximaldruckwerte (N/cm²) über MT45.

Darstellung der Mittelwerte des Maximaldruckes (N/cm²) über MT23 zu den Messzeitpunkten präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ. MT: Metatarsale, n: Patientenzahl.

Tabelle 2: Ergebnisse der Mittelwerte des Maximaldruckes (N/cm²).

Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung der Maximaldruckwerte (N/cm²) über MT1, MT23, MT45 zu verschiedenen Messzeitpunkten. Die Werte sind auf 2 Dezimalen nach dem Komma gerundet. MT: Metatarsale, n: Anzahl der ausgewerteten Patienten.

	Präoperativ (n=18)	6 Wochen postoperativ (n=18)	12 Wochen postoperativ (n=18)	24 Wochen postoperativ (n=18)
MT1	29,46 ($\pm 9,16$)	9,75 ($\pm 9,99$)	18,64 ($\pm 10,33$)	26,01 ($\pm 10,13$)
MT23	38,31 ($\pm 11,40$)	17,41 ($\pm 9,21$)	29,00 ($\pm 8,09$)	36,66 ($\pm 7,27$)
MT45	20,30 ($\pm 7,25$)	18,66 ($\pm 10,33$)	26,72 ($\pm 10,71$)	25,38 ($\pm 8,42$)

3.1.3 Vergleich des Maximaldruckes zwischen den einzelnen Operationsverfahren

Für die unterschiedlichen Operationsverfahren (Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie und Großzehengrundgelenksarthrodese) konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden ($p > 0,18$). Daraus folgt, dass das gewählte Operationsverfahren keinen Einfluss auf den Maximaldruck, die plantare Druckverteilung des Vorfußes oder auf die postoperative Entwicklung des Maximaldruckes hatte. Ein möglicher Grund für die fehlende Signifikanz könnte das kleine Patientengut innerhalb der einzelnen Operationsverfahren (Chevron-Osteotomie $n=7$, Basisosteotomie $n=7$, Großzehengrundgelenksarthrodese $n=4$) sein.

3.2. AOFAS-Score

3.2.1. Darstellung des AOFAS-Scores

Wie bereits erwähnt, wurde auch zur statistischen Analyse des AOFAS-Scores der mixed-model ANOVA durchgeführt. Hier zeigte sich eine Signifikanz für den Haupteffekt Messzeitpunkt ($p < 0,001$). Dies bedeutet, dass sich die Werte des AOFAS-Scores zu den verschiedenen Messzeitpunkten unterschieden. Im gesamten postoperativen Verlauf hinweg zeigten sich von 6 Wochen postoperativ bis hin zu 24 Wochen postoperativ steigende Werte des AOFAS-Scores. Betrug der AOFAS-Score im Mittel präoperativ 54,94 ($\pm 8,02$), stieg er 6 Wochen postoperativ bereits auf 67,19 ($\pm 8,81$) an. 12 Wochen postoperativ zeigte sich ein Mittelwert von 80,29 ($\pm 8,55$). Ein weiterer Anstieg auf 83,34 ($\pm 6,87$) konnte 24 Wochen postoperativ festgestellt werden (Abbildung 9).

Um festzustellen, welche Messzeitpunkte sich jedoch statistisch signifikant voneinander unterschieden, wurde ein post-hoc t-Test mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied des AOFAS-Scores zu den Messzeitpunkten präoperativ, 6 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ ($p < 0,001$). Von 24 Wochen postoperativ zu 48 Wochen postoperativ konnte keine signifikante Zunahme des AOFAS-Scores gemessen werden ($p = 0,28$).

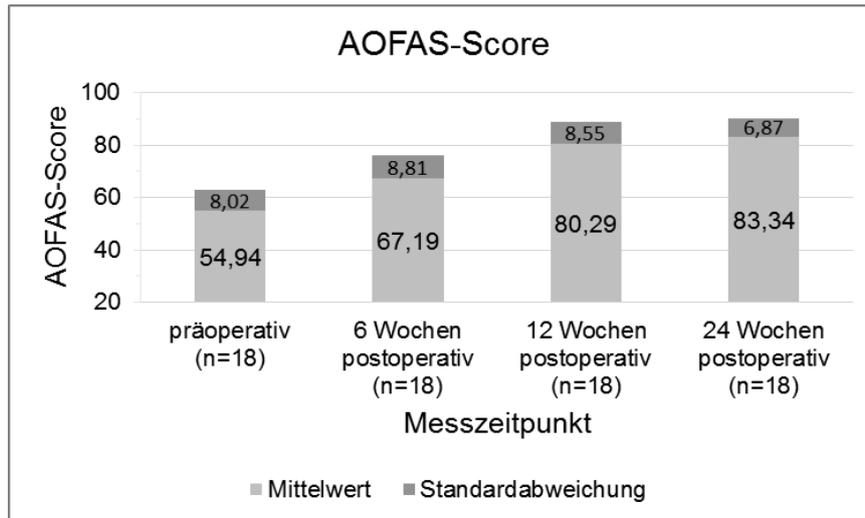


Abbildung 9: Mittelwerte des AOFAS-Scores im postoperativen Verlauf. Dargestellt ist der Mittelwert des AOFAS-Scores aller 18 Patienten zu den verschiedenen Messzeitpunkten präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ. n: Patientenzahl.

3.2.2. Darstellung des AOFAS-Scores der einzelnen Operationsverfahren

Die Hallux valgus Patienten, die einer Chevron-Osteotomie unterzogen wurden, gaben präoperativ im Mittel einen AOFAS-Score von $54,71(\pm 7,16)$ an. Bereits 6 Wochen postoperativ stieg der Mittelwert des AOFAS-Scores auf $66,71(\pm 5,56)$ an. 12 Wochen postoperativ konnte ein Mittelwert von $83,43(\pm 7,14)$ erhoben werden. Jedoch kam es, anders als bei den Patienten nach Basisosteotomie und Großzehengrundgelenksarthrodese, zu einem leichten Abfall des Mittelwertes des AOFAS-Scores 24 Wochen postoperativ auf $81,43(\pm 6,45)$ (Abbildung 10, Tabelle 3).

Der Mittelwert des AOFAS-Scores bei den Patienten mit Basisosteotomie stieg, ausgehend von einem präoperativen Mittelwert von $53(\pm 8,37)$, postoperativ kontinuierlich an. 6 Wochen postoperativ wurde ein Mittelwert von $65,57(\pm 12,22)$ erreicht. Dieser stieg 12 Wochen postoperativ auf $79,57(\pm 9,02)$ an und erreichte 24 Wochen postoperativ sein Maximum mit $83(\pm 7,05)$ (Abbildung 10, Tabelle 3).

Die Patienten nach Großzehengrundgelenksarthrodese gaben einen Mittelwert des AOFAS-Scores von $58,72(\pm 9,7)$ präoperativ an, welcher 6 Wochen postoperativ $70,84(\pm 7,45)$ betrug. 12 Wochen postoperativ stieg der Mittelwert des AOFAS-Scores auf $76,06(\pm 10,07)$ und erreichte 24 Wochen postoperativ einen Wert von $87,3(\pm 7,44)$ (Abbildung 10, Tabelle 3).

Bezüglich der gewählten Operationsverfahren konnte mit Hilfe des mixed-model ANOVA jedoch keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden ($p=0,65$). Demnach war der postoperative Anstieg des AOFAS-Scores unabhängig vom gewählten Operationsverfahren. Auch konnte kein Zusammenhang zwischen Messzeitpunkt und Operationsverfahren nachgewiesen werden ($p=0,52$).

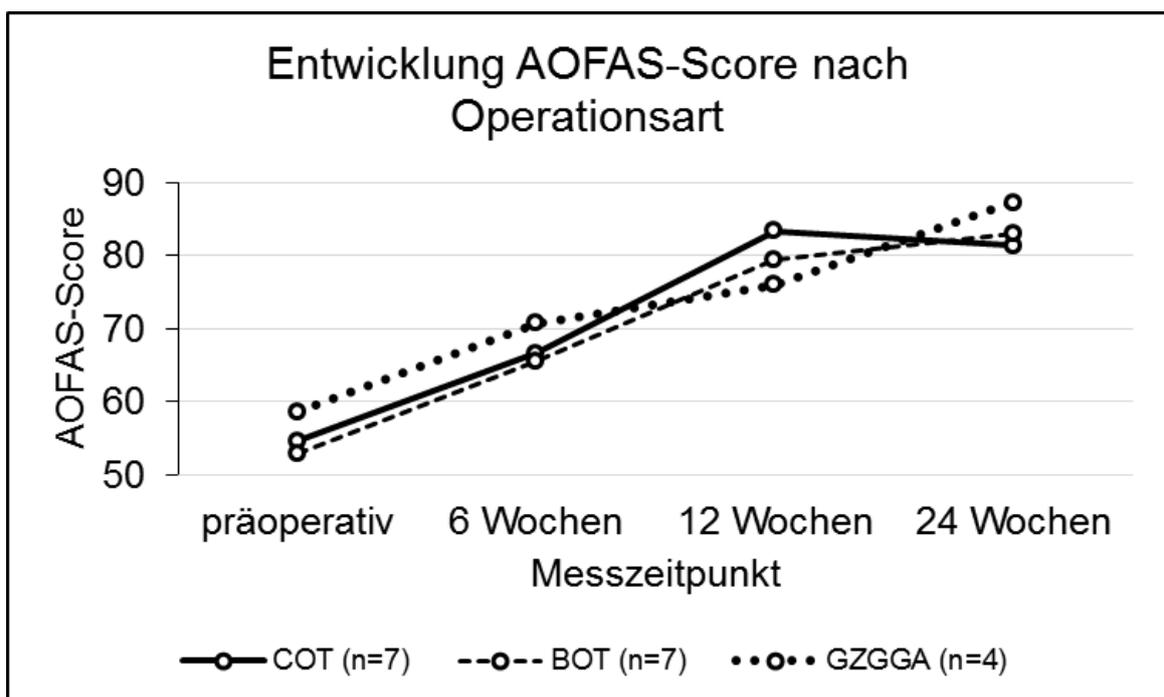


Abbildung 10: Mittelwerte des AOFAS-Scores nach Operationsverfahren.

Dargestellt sind die Mittelwerte des AOFAS-Scores der einzelnen Operationsverfahren Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie und Großzehengrundgelenksarthrodese zu den verschiedenen Messzeitpunkten präoperativ, 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen postoperativ.

Tabelle 3: Mittelwerte des AOFAS-Scores.

Darstellung der Mittelwerte des AOFAS-Scores \pm Standardabweichung für die verschiedenen Operationsverfahren. Die Werte sind auf 2 Dezimalen nach dem Komma gerundet.

n: Patientenanzahl, COT: Chevron-Osteotomie, BOT: Basisosteotomie, GZGGA: Großzehengrundgelenksarthrodese.

	Präoperativ	6 Wochen postoperativ	12 Wochen postoperativ	24 Wochen postoperativ
COT (n=7)	54,71 ($\pm 7,16$)	66,71 ($\pm 5,56$)	83,43 ($\pm 7,14$)	81,43 ($\pm 6,45$)
BOT (n=7)	53,0 ($\pm 8,37$)	65,57 ($\pm 12,22$)	79,57 ($\pm 9,02$)	83,0 ($\pm 7,05$)
GZGGA (n=4)	58,72 ($\pm 9,70$)	70,84 ($\pm 7,45$)	76,06 ($\pm 10,07$)	87,30 ($\pm 7,44$)
gesamt (n=18)	54,94 ($\pm 8,02$)	67,19 ($\pm 8,81$)	80,29 ($\pm 8,55$)	83,34 ($\pm 6,87$)

4. Diskussion

4.1. Patientengut

Auf Grund einer hohen drop-out Rate 48 Wochen postoperativ, nicht wahrgenommener Studientermine, Druckwerte mit mehr als der doppelten Standardabweichung von dem ermittelten Mittelwert und Druckwerte $< 0,1$ N/cm², kam es zu einer starken Verminderung des Patientenkollektivs für die statistische Auswertung. Auch wenn hierdurch nur 18 der ursprünglich 66 Patienten in die statistische Auswertung mit einbezogen wurden, war dies jedoch notwendig, um zum Einen statistisch aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten und zum Anderen die Daten desselben Patientenguts auswerten zu können.

Bereits auch schon in vorherigen Arbeiten hat sich eine geringere Nachuntersuchungsquote, unter anderem auf Grund einer langen Anreise oder Beschwerdefreiheit, als zu Studienbeginn erhofft, gezeigt⁽⁸⁶⁾. Entscheidend hierbei sei laut der Dissertationsarbeit von C. Müller⁽⁸⁶⁾ auch das zeitliche Intervall zwischen Operation und Nachuntersuchung. So sei die Rücklaufquote von Fragebögen geringer, je weiter die Operation zurückgelegen habe. Auch im Rahmen dieser Studie konnte festgestellt werden, dass es zu einer abnehmenden Teilnahme an studienspezifischen Terminen kam, je länger die Operation zurück lag.

Sole et al.⁽⁸⁷⁾ und Wollesen et al.⁽⁸⁸⁾ haben gezeigt, dass das Alter Auswirkungen auf das Abrollverhalten haben könnte. Es ist zu überlegen, ob eine Aufteilung des Patientengutes in verschiedene Altersgruppen sinnvoll gewesen wäre. Auf Grund der geringen Patientenzahl war dies jedoch nicht möglich.

4.2. Messanordnung und Messapparatur

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde bei den gesamten Messungen immer dieselbe Versuchsanordnung gewählt und die Patienten wurden nach demselben Schema eingewiesen, wie sie auf dem Laufband zu laufen haben.

Wie in der Dissertationsschrift von Frau Schiek⁽¹¹⁾ gezeigt wurde, kann es durch Auflegen der Hände auf die seitlich des Laufbandes angebrachten Haltestangen zu Veränderungen des Gangbildes kommen. Daher wurden die Patienten gebeten, ein seitliches Auflegen der Hände nach Möglichkeit zu vermeiden. Jedoch war es zur Sicherheit der Patienten gestattet, die Hände leicht auf die Haltestangen aufzulegen, falls sich der Patient zu unsicher auf dem Laufband fühlte. Um die Gangunsicherheit möglichst gering zu halten und eine Gewöhnung an die sich bewegende Laufbandfläche zu ermöglichen, hatten die Patienten dieser Studie vor Beginn der Messung die Möglichkeit, sich kurz einzulaufen. Auch wenn vorangegangene Studien gegensätzliche

Meinungen zu dem Nutzen eines „Einlaufens“ vertreten^(89, 90), wurde unserer Meinung nach zumindest das subjektive Wohlbefinden des Patienten durch diese Maßnahme verbessert. Eine Einlaufphase war vor allem bei dem Studientermin sechs Wochen nach der Operation von großer Bedeutung, da die Patienten erstmals seit sechs Wochen ohne Verbandsschuh, den sie direkt nach der Operation angelegt bekommen haben, gelaufen sind.

Hierdurch stellt sich die Frage, ob es sinnvoll gewesen wäre, anstelle von einem sich bewegenden Untergrund Bodenplatten zur Detektion des Druckes während des Abrollvorganges zu benutzen. Hierzu würden viele verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Sensoren⁽⁹¹⁾ als auch unterschiedlichen Hilfsmitteln (unter anderem Bodenplatten und Einlegesohlen)⁽⁹¹⁾ auf dem Markt zur Verfügung stehen⁽⁹¹⁾. Der Vorteil des in unserer Studie verwendeten Laufbandes gegenüber Bodenplatten bestand jedoch darin, dass eine theoretisch unbegrenzte Anzahl an Schrittfolgen abgebildet werden konnte. Zudem war es dadurch möglich, die Messung erst nach einer kurzen Einlaufphase des Patienten zu beginnen. So konnten etwaige Gangunsicherheiten wie oben erwähnt vorgebeugt werden.

Wie bereits in vorherigen Studien gezeigt, ist die Druckverteilung während des Abrollvorganges unter anderem von der Laufgeschwindigkeit abhängig^(54, 88, 92). Um ein möglichst naturgetreues Gangbild zu imitieren, liefen die Patienten in einigen Studien mit frei wählbarer Geschwindigkeit⁽⁹³⁾. Um jedoch eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, haben wir eine konstante Laufgeschwindigkeit von 3,6 km/h für unsere Studie gewählt.

Ob die Anzahl der Schritte eine Rolle in der Reliabilität spielt, ist umstritten. Laut einer an Kindern durchgeführten Studie zeigt Oladeji et al.⁽⁹⁴⁾, dass man ähnliche Ergebnisse unabhängig davon erhält, ob die Druckwerte nach dem 2. Schritt oder in der Mitte einer längeren Schrittfolge erhoben werden.

4.3. Maximaldruck

Plantare Druckmessungen können spezifische Aussagen über die Druckwerte in verschiedenen Bereichen des Fußes während des Bodenkontaktes liefern^(7, 91). Es gibt jedoch kein festgelegtes Schema, nach welchem der Fuß in verschiedene Messbereiche aufgeteilt wird. Demnach unterscheidet sich die Anzahl der Felder von Studie zu Studie. Während der Fuß in dieser Studie in 12 Felder unterteilt wurde, unterscheidet Frau Schiek⁽¹¹⁾ in ihrer Dissertationsschrift 8 Bereiche, Zammit et al.⁽⁹⁵⁾ sieben Bereiche, Alvarez et al.⁽⁹³⁾ fünf Bereiche und Gurney et al.⁽⁹⁶⁾ nahm eine Aufteilung in 10 Bereiche vor. Eine Unterteilung in ebenfalls 12 Felder wurde bei Titianova et al.⁽⁷³⁾ gewählt. Da jedoch jedem Bereich eine anatomische Struktur zugeordnet wird^(61, 73, 93, 95), kann man die Ergebnisse der einzelnen Strukturen trotz unterschiedlicher Anzahl an Aufteilungen miteinander vergleichen.

Das Gangbild der Patienten und somit die gemessene Druckverteilung hat Unterschiede im zeitlichen Abstand zur Operation gezeigt.

Eine Auffälligkeit konnte bei dem Studientermin sechs Wochen postoperativ festgestellt werden. Hier betrug die Druckbelastung über den Zehen häufig 0 N/cm², was darauf schließen lässt, dass der Abrollvorgang des Fußes nicht über die Zehen fortgesetzt wurde. Dies kann dadurch erklärt werden, dass es in der klinischen Routine der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen üblich ist, einen Verbandschuh für sechs Wochen nach der Operation zu tragen. Somit findet die Laufbanduntersuchung zeitlich gesehen direkt im Anschluss an den routinemäßig stattfindenden Termin in der Ambulanz der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen, in dem der Verbandschuh abgenommen wird, statt. Damit der Patient keinen doppelten Anfahrtsweg durch die Teilnahme an der Studie hatte, wurde der Studientermin direkt an den Termin in der Ambulanz geplant. Um dem Patienten eine kurze Eingewöhnung an das Laufen ohne Verbandschuh zu ermöglichen, wurde dem Patienten, wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, eine kurze Einlaufphase auf dem Laufband zugestanden.

Geschlechtsspezifische Unterschiede in der plantaren Druckverteilung wurden in verschiedenen Studien, sowohl bei Kindern, als auch bei Erwachsenen, nachgewiesen. In einer Studie mit 61 Kindern zwischen 5 Jahren und 16 Jahren konnte Ferrari et al.⁽²⁷⁾ zeigen, dass bei Mädchen ein höherer Spitzendruck unter der Großzehe gemessen wurde, als bei den Jungen dieser Studie. Auch Iida et al.⁽⁶⁸⁾ konnte nachweisen, dass das Gangbild des Menschen geschlechtsspezifische Unterschiede aufweist. Unterschiede bezüglich des Bodendrucks wurden bei Hennig et al.⁽⁶⁵⁾ anhand 111 Erwachsener nachgewiesen.

Dies lässt die Frage aufkommen, ob eine Unterteilung der Patienten dieser Studie nach dem Geschlecht sinnvoll gewesen wäre. Da jedoch alle 18 Patienten, die in die statistische Analyse mit einbezogen wurden, weiblich waren, war dies nicht möglich. In anderen Studien konnte ein geschlechtsspezifischer Unterschied in der plantaren Druckverteilung nicht immer nachgewiesen werden. In einer Studie von Murphy et al.⁽⁹⁷⁾ wurde an 60 Athleten gezeigt, dass es keinen Unterschied zwischen der plantaren Druckverteilung zwischen Männern und Frauen gibt.

Neben dem Geschlecht^(27, 65, 68, 69) scheint jedoch auch das Alter^(56, 70) in der plantaren Druckverteilung eine Rolle zu spielen. So kommt es laut einer Studie von Scott et al.⁽⁵⁶⁾ mit 50 fußgesunden älteren Menschen (80,3 Jahre \pm 5,7 Jahre) und 50 fußgesunden jüngeren Patienten (20,9 Jahre \pm 2,6 Jahre) zu einer Abnahme der plantaren Druckverteilung unter der Ferse von 13%-16%, unter den Metatarsophalangealgelenken von 11%-16% und unter der Großzehe von 19%-25% bei älteren Menschen, während es zu einer Zunahme der relativen Kontaktzeit dieser Regionen kommt. Eine Abnahme des plantaren Spitzendrucks unter dem Kalkaneus, der Großzehe und dem mittleren Bereich des Fußes im Alter konnte ebenfalls in einer Studie von Hessert et al.⁽⁷⁰⁾ nachgewiesen werden. Auf Grund des kleinen Patientenguts wurde jedoch auf eine Auswertung nach verschiedenen Altersgruppen verzichtet.

Dass es nach einer Hallux valgus Operation zu Veränderungen in der Verteilung des Maximaldruckes während des Abrollvorganges kommt, wurde bereits in einigen Studien nachgewiesen. Betrachtet man den Bereich der Großzehe, werden jedoch je nach Studie unterschiedliche Aussagen über die Höhe des postoperativen Spitzendruckes getroffen. Während es in einer Studie von Bryant et al.⁽¹⁰⁾ 24 Monate postoperativ zu einem Abfall des Spitzendruckes auf Normalwerte kam, stieg der Maximaldruck in einer Studie von Schuh et al.⁽⁵²⁾, in der die Patienten für vier bis sechs Wochen ein multimodales Rehabilitationsprogramm bekamen, im Bereich der Großzehe von 66,1 N präoperativ auf 87,2 N 6 Monate postoperativ an.

Im Rahmen dieser Studie konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Mittelwerte 6 Wochen postoperativ zunächst abgefallen waren, es 6 Monate postoperativ jedoch zu einem erneuten Anstieg des Mittelwertes des Maximaldruckes mit ähnlich hohen Werten als präoperativ kam. In dieser Studie betrug der Mittelwert des Maximaldruckes jedoch bei geringerem Ausgangswert von 29,46 N/cm² ($\pm 9,16$) nur 26,01 N/cm² ($\pm 10,13$). Ob die Druckwerte 24 Monate postoperativ wie bei Bryant et al.⁽¹⁰⁾ ebenfalls auf Normalniveau gelegen hätten, konnte auf Grund zu kleiner Fallzahl in dieser Studie leider nicht nachgewiesen werden.

Es hat sich außerdem gezeigt, dass die Mittelwerte des Maximaldruckes sechs Wochen postoperativ auch im Bereich der MT23 und MT45 im Vergleich zu den präoperativ gemessenen Werten abgefallen waren. 24 Wochen postoperativ wurden jedoch wieder ähnlich hohe Werte als präoperativ gemessen. Dass es im postoperativen Verlauf zu einem Anstieg des plantaren Spitzendruckes über den präoperativ gemessenen Wert hinaus kam, wurde auch in anderen Studien nachgewiesen. So kam es in einer Studie von Schuh et al.⁽⁵¹⁾, in der 29 Patienten nach Chevron-Osteotomie nach mildem bis moderatem Hallux valgus untersucht wurden, ein Jahr postoperativ (144,7 N) zu einem Anstieg des mittleren Spitzendruckes unter dem Metatarsale Köpfchen von 22,2 N im Vergleich zu präoperativ (122,5 N). Jedoch erhielten die Patienten dieser Studie postoperativ ein spezielles krankengymnastisches Programm. Eine weitere

Studie von Bryant et al.⁽¹⁰⁾, in der 44 FüÙe von 31 Patienten mit mildem bis moderatem Hallux valgus und einer Kontrollgruppe bestehend aus 36 FüÙen untersucht wurden, konnte zeigen, dass der plantare Spitzendruck 24 Monate postoperativ unveränderte Werte im Vergleich zu den präoperativ erhobenen Werten aufgewiesen hatte. Dies galt für die Regionen des Köpfchens des Os Metatarsale I, II und III. Der plantare Spitzendruck der Hallux valgus Patienten erreichte höhere Werte als in der Kontrollgruppe.

Die Maximaldruckwerte des plantaren Spitzendruckes verlagerten sich in einer Studie von Milani et al.⁽⁹⁸⁾ vom Hallux zu den Metatarsalköpfchen, vor allem zu den Köpfchen des Os metatarsale III. Auch in dieser Studie waren die größten postoperativ gemessenen Mittelwerte des plantaren Spitzendruckes über MT 23 zu messen. Einzige Ausnahme hierbei stellte die Messung sechs Wochen postoperativ dar. Hier lag der größte Mittelwert des Maximaldruckes über MT45.

Zusammenfassend kann bezüglich der plantaren Druckverteilung, wie schon von Zhu et al.⁽⁷⁾ beschrieben, gesagt werden, dass sich die plantare Druckverteilung nach der Operation im Vergleich zu den präoperativ gemessenen Werten deutlich gebessert hat.

In einigen Studien gibt es Hinweise darauf, dass der Grad der Ausprägung des Hallux valgus in die Auswertung mit einbezogen werden sollte. So zeigte sich in einer Studie von Hurn et al.⁽⁹⁾, in der 60 Patienten und eine Kontrollgruppe bestehend aus 30 Probanden untersucht wurden, dass im Vergleich zur Kontrollgruppe bei Patienten mit moderatem bis starkem Hallux valgus ein niedrigerer Spitzendruck über der Großzehe zu verzeichnen war als in der Kontrollgruppe. Allerdings zeigten sich keine Unterschiede bei Patienten mit einer milden Ausprägung des Hallux valgus im Vergleich zur Kontrollgruppe. In den übrigen hier diskutierten Studien^(10, 51) wurde ebenfalls der Schweregrad des Hallux valgus definiert.

4.4. AOFAS-Score

Der AOFAS („American Orthopaedic Foot and Ankle Society“)- Fragebogen gehört zu den gängigsten Fragebögen zur Beurteilung fußchirurgischer Maßnahmen oder Therapien⁽⁹⁹⁻¹⁰¹⁾ und wird zur postoperativen Beurteilung von Operationen im Fußbereich angewendet⁽¹⁰²⁾.

Bei der Erhebung des AOFAS-Scores wurden sowohl subjektive als auch objektive Parameter erfasst. Hierdurch war das Ergebnis einerseits von dem individuellen Empfinden des Patienten und zum anderen in gewissem Maße auch vom Untersucher abhängig. Beispiele hierfür sind der Unterpunkt „Schmerzempfinden“ (keine Schmerzen/wenig, gelegentlich/mäßig, täglich/stark, immer), bei dem es sich um eine subjektive Einschätzung des Patienten handelt. Aber auch bei dem Ausmessen der Beweglichkeit im MTP- und IP-Gelenk kann es zu untersucherabhängigen kleineren Abweichungen kommen. Um dies zu vermeiden, wurde der AOFAS-Score von immer denselben Untersuchern erhoben.

Auch eine kategorische Einordnung in $>75^\circ$, $30-74^\circ$ und $<30^\circ$ für die Beweglichkeit im MTP-Gelenk und in „keine Einschränkung“ versus „starke Einschränkung ($<10^\circ$)“ verringern eventuell vorhandene untersucherbedingte kleinere Abweichungen.

Während im Rahmen dieser Studie bezüglich des AOFAS-Scores weder für die Operationsart noch für den Zusammenhang zwischen Messzeitpunkt und Operationstyp eine Signifikanz nachgewiesen werden konnte, spielt laut Malviya et al.⁽¹⁰²⁾ für das Ergebnis des AOFAS-Score-Fragebogens der Zeitpunkt bzw. der zeitliche Abstand des operativen Eingriffs zur Erfassung des AOFAS-Scores eine Rolle. So konnte Malviya et al.⁽¹⁰²⁾ in einer Studie mit 204 verschiedenen Operationsverfahren, die an 159 Patienten durchgeführt wurden, evaluieren, zu welchen Zeitpunkten die besten Ergebnisse des AOFAS-Scores erfasst werden können. Der AOFAS-Score stieg von einem Wert von 45,5 präoperativ auf einen Spitzenwert von 81,5 6 Monate postoperativ an. Danach fiel der AOFAS-Score ein Jahr postoperativ wieder auf 79,2 ab. 3 Monate

postoperativ betrug der AOFAS-Score 76,5. Demnach sei es laut Malviya et al.⁽¹⁰²⁾ am Besten, den AOFAS-Score präoperativ, 6 Monate postoperativ und 12 Monate postoperativ zu erfassen. Auf eine Datenerfassung 3 Monate postoperativ könne verzichtet werden.

Ebenso decken sich die Ergebnisse von Malviya et al.⁽¹⁰²⁾ gut mit den Ergebnissen dieser Studie im Hinblick auf den Anstieg des AOFAS-Scores im postoperativen Verlauf. In beiden Untersuchungen kommt es zu einem kontinuierlichen Anstieg des Mittelwertes des AOFAS-Scores mit ähnlich hohen Werten. Beide Male konnte der größte Anstieg des AOFAS-Scores von präoperativ zu 12 Wochen postoperativ gemessen werden (Malviya 31, diese Studie 25,25). Der Anstieg des AOFAS-Scores 6 Monate postoperativ zu 3 Monate postoperativ war beide Male eher gering ausgeprägt (Malviya 5, diese Studie 3,09).

Ein Anstieg des AOFAS-Scores nach einer Hallux valgus Operation konnte außerdem auch noch in anderen Studien nachgewiesen werden^(16, 17, 51, 103-105). So zeigte sich bei Schuh et al.⁽⁵¹⁾ in einer Studie mit 29 Patienten mit mildem bis moderatem Hallux valgus mit Chevron-Osteotomie ein Anstieg des AOFAS-Scores von 61 präoperativ auf 94 ein Jahr postoperativ.

In den zuvor erwähnten Studien, in denen jeweils Patienten nach Chevron-Osteotomie nach Hallux valgus untersucht wurden, lagen die präoperativ gemessenen Werte des AOFAS-Scores mit 53,4⁽¹⁰⁵⁾, 55⁽¹⁷⁾ und 56,6⁽¹⁰⁴⁾ sehr nah beieinander und decken sich mit dem präoperativ gemessenen Wert dieser Studie von 54,71(±7,2). Während jedoch in dieser Studie ein Anstieg des AOFAS-Scores auf 83,42(±7,13) 12 Wochen nach Chevron-Osteotomie gemessen werden konnte, lag der postoperativ gemessene Wert des AOFAS-Scores in den oben genannten Studien bei ungefähr 90^(17, 104, 105). In Studien von Schuh et al.⁽⁵¹⁾ und Choi et al.⁽¹⁰³⁾ kam es sogar zu einem Anstieg des AOFAS-Scores auf 94⁽⁵¹⁾ und 95⁽¹⁰³⁾. Allerdings war der präoperativ erhobene Wert von 77 auch deutlich höher als in den zuvor erwähnten Studien von Vasso et al.⁽¹⁰⁴⁾, Markbreiter et al.⁽¹⁰⁵⁾ und Hofstaetter et al.⁽¹⁷⁾. Dies scheint jedoch nicht nur bei Chevron-Osteotomie der Fall zu sein. In einer Studie von Adam et

al.⁽¹⁶⁾, in der 34 FüÙe von 29 Patienten mit Akin-Osteotomie untersucht wurden, kam es auch zu einem Anstieg des postoperativen AOFAS-Scores auf 90,3. In einer Studie von Coughlin et al.⁽¹⁰⁶⁾, in der Patienten nach Großzehengrundgelenksarthrodese mit moderatem bis hochgradigem Hallux valgus untersucht wurden, kam es im Vergleich zu den zuvor erwähnten Studien zu einem deutlich geringeren postoperativen AOFAS-Score von 84. Jedoch deckt sich der Wert gut mit dem Mittelwert des in dieser Studie erfassten AOFAS-Scores 24 Wochen postoperativ mit 87,3(\pm 7,44). Es ist hierbei zu beachten, dass die Vergleichbarkeit der Daten nur eingeschränkt möglich ist, da die meisten Studien ein Follow-up von mindestens einem Jahr untersuchten^(16, 17, 51, 104, 105). So wurde bei Adam et al.⁽¹⁶⁾ nach 18 Monaten, bei Markbreiter et al.⁽¹⁰⁵⁾ nach durchschnittlich 21,4 Monaten und bei Vasso et al.⁽¹⁰⁴⁾ nach durchschnittlich 41,7 Monaten nachuntersucht. Bei Hofstaetter et al.⁽¹⁷⁾ betrug der Nachbeobachtungszeitraum sogar 3,3 Jahre, bei Coughlin et al.⁽¹⁰⁶⁾ 8,2 Jahre. In unserer Studie wurden die Messzeitpunkte 6 Wochen postoperativ, 12 Wochen postoperativ und 24 Wochen statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse ein Jahr postoperativ wurden, wie bereits in der Diskussion des Patientenguts beschrieben, nicht in die statistische Analyse mit einbezogen. Somit lag der Zeitraum mit 24 Wochen postoperativ deutlich unter dem der eben genannten Studien. In einer Studie von Schuh et al.⁽⁵²⁾, in der 20 Patienten mit Austin-Osteotomie und 10 Patienten mit Scarf-Osteotomie eingeschlossen wurden, stieg der AOFAS-Score 6 Monate postoperativ von 60,7 (\pm 11,9) Punkte auf 94,5 (\pm 4,5) Punkte an.

Auch ein etwaiger Zusammenhang zwischen dem AOFAS-Score und dem gewählten Operationsverfahren wurde im Rahmen dieser Studie untersucht. Es zeigte sich jedoch keine statistische Signifikanz.

Es könnte angenommen werden, dass es einen Zusammenhang zwischen dem postoperativ gemessenen AOFAS-Score und dem präoperativen AOFAS-Score gibt. Bei Patienten mit präoperativ niedrigerem AOFAS-Score war der Anstieg des AOFAS-Scores postoperativ nicht deutlich höher als bei Patienten mit

höherem AOFAS-Score präoperativ. Bei präoperativ gemessenen Werten von ungefähr 55 kam es zu einem Anstieg auf ungefähr 90^(17, 104). Bei Markbreiter et al. lag der präoperative Wert mit 53,4 geringfügig niedriger. Hier betrug der postoperativ gemessene AOFAS-Score 92,7. Präoperativ höhere Werte wurden bei Choi et al.⁽¹⁰³⁾ und Adam et al.⁽¹⁶⁾ gemessen, führten jedoch nicht zu einer deutlich größeren oder exponentiellen Zunahme des AOFAS-Scores im Vergleich zu den zuvor erwähnten Studien. Die Differenz der Zunahme war bei geringeren präoperativ gemessenen AOFAS-Score-Werten jedoch größer als bei höheren Werten.

Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen dieser Studie. Die niedrigsten präoperativen Mittelwerte des AOFAS-Scores wurden bei Basisosteotomie angegeben. Die 24 Wochen postoperativ gemessenen Mittelwerte lagen jedoch im Vergleich zu den anderen beiden untersuchten Operationsarten im Mittelfeld. Der höchste 24 Wochen postoperativ gemessene AOFAS-Score wurde von Patienten mit Großzehengrundgelenksarthrodese angegeben. Diese hatten auch präoperativ die höchsten Mittelwerte für den AOFAS-Score angegeben. Patienten, die einer Chevron-Osteotomie unterzogen wurden, lagen präoperativ im Mittelfeld, der 24 Wochen postoperativ gemessene Mittelwert des AOFAS-Scores war jedoch am Geringsten.

5. Zusammenfassung

Der Hallux valgus stellt mit einer Prävalenz von 23%-35,7%⁽²¹⁾ eine häufige Fußdeformität in der Bevölkerung dar. Nicht zuletzt auf Grund der durch die Deformität entstehenden Schmerzen^(1-3, 5, 12) sind Hallux valgus Patienten in der Verrichtung alltäglicher Dinge eingeschränkt^(12, 14), was sich auch in einer Abnahme der Lebensqualität⁽¹³⁾ und in der Patientenzufriedenheit widerspiegelt. Schon in bereits zuvor durchgeführten Studien wurde außerdem dargelegt, dass der Hallux valgus Auswirkungen auf das Abrollverhalten hat⁽⁷⁻¹¹⁾. Ziel dieser Studie war es, anhand der plantaren Druckverteilung die Auswirkungen einer Hallux valgus Operation in Bezug auf das Abrollverhalten

im postoperativen Verlauf bis zu einem Jahr darzustellen. Dies wurde anhand der vier Operationen Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie, Großzehengrundgelenksarthrodese und Resektionsarthroplastik untersucht. Auch etwaige Unterschiede in Abhängigkeit des gewählten Operationsverfahrens waren von Interesse. Mit Hilfe des AOFAS-Scores wurde weiterhin untersucht, inwieweit es zu Verbesserungen postoperativ gekommen war.

In die Studie wurden insgesamt 66 Patienten (Chevron-Osteotomie n= 20, Basisosteotomie n= 24, Großzehengrundgelenksarthrodese n= 14, Resektionsarthroplastik n= 7, Doppelosteotomie n= 1) gemäß den Ein- und Ausschlusskriterien eingeschlossen. Auf Grund verschiedener limitierender Faktoren, wurden 18 Patienten (Chevron-Osteotomie n= 7, Basisosteotomie n= 7 und Großzehengrundgelenksarthrodese n= 4) in die statistische Analyse eingeschlossen. Alle 18 Patienten waren weiblich. Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug $56,7 \pm 6,3$ Jahre. Die Patienten, die einer Resektionsarthroplastik unterzogen wurden, wurden unter anderem auf Grund einer zu geringen Patientenzahl aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Durchgeführt wurde die Messung mit Hilfe des Laufbandes Ergo-Run Medical 8 der Firma Daum Electronic GmbH^(79, 80) mit integrierten Kraft- und Druckmessplatten der Firma Zebris Medical GmbH^(81, 85). Alle Messungen wurden außerdem mit einer Videokamera aufgezeichnet. Die Analyse der dynamischen Kraft- und Druckverteilung während des Abrollvorganges wurde mit der Software WinFDM-T Version 2.0.39 durchgeführt. Der plantare Spitzendruck wurde in N/cm² anhand farbigen Druckbildern, in denen die Fußsohle in 12 Bereiche unterteilt wurde, dargestellt. Eine Messreihe bestand aus 2x 10-20 Schritten mit einer Laufgeschwindigkeit von 3,6 km/h.

Die Ergebnisse dieser Studie haben in Bezug auf den plantaren Spitzendruck gezeigt, dass es 6 Wochen postoperativ über MT1, MT23 und MT45 zu einer Abnahme des Mittelwertes des Maximaldruckes kommt. Jedoch ist die Abnahme über MT45 geringer als über MT1 und MT23.

Im Zeitraum von 6 Wochen bis 24 Wochen postoperativ konnte ein kontinuierlicher Anstieg des Mittelwertes des Maximaldruckes über MT 1 und MT23 verzeichnet werden. Die Werte 24 Wochen postoperativ erreichten leicht niedrigere Werte im Vergleich zu dem präoperativen Ausgangsniveau.

Der Mittelwert des Maximaldruckes stieg auch über MT45 von 6 Wochen postoperativ zu 12 Wochen postoperativ an. Bis zu 24 Wochen postoperativ fiel der Wert jedoch wieder leicht ab, blieb aber über dem Ausgangsniveau.

Zwischen den untersuchten Operationsverfahren Chevron-Osteotomie, Basisosteotomie und Großzehengrundgelenksarthrodese konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden.

In Bezug auf den gemessenen AOFAS-Score lässt sich sagen, dass es nach allen drei dargestellten Operationsformen zu einem kontinuierlichen Anstieg des postoperativen AOFAS-Scores kam. Der stärkste Anstieg von präoperativ zu 24 Wochen postoperativ konnte bei Patienten mit Basisosteotomie gemessen werden. Hier betrug der Anstieg des Mittelwertes 30. Der geringste Anstieg zeigte sich bei Chevron-Osteotomie mit einem Wert von 26,71. Jedoch konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden.

Auch wenn der im Rahmen dieser Studie gewählte Fragebogen AOFAS-Score durch subjektive Komponenten sowohl seitens des Untersuchers als auch seitens des Patienten beeinflusst werden konnte, wurde dieser Fragebogen gewählt, da er zu den gängigsten Fragebögen zur Beurteilung fußchirurgischer Maßnahmen⁽⁹⁹⁻¹⁰¹⁾ und zur postoperativen Beurteilung⁽¹⁰²⁾ zählt.

Im Rahmen dieser Studie wurde durch verschiedene Maßnahmen versucht, eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Hierzu zählen unter anderem eine einheitliche Laufgeschwindigkeit und das Laufen auf einem Laufband. Jedoch hat letzteres bei einigen Patienten Unsicherheiten hervorgerufen, wodurch die Möglichkeit der seitlichen Stabilisierung an Haltestäben während des Laufens genutzt wurde. Hierdurch könnte das Gangbild der Patienten beeinflusst worden sein.

Um statistisch aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten und die Daten derselben Patienten auszuwerten, wurden nur Patienten in die statistische Auswertung mit einbezogen, die alle Studientermine wahrgenommen haben. Zusammen mit einer hohen drop-out Rate und anderen Selektionskriterien kam es hierdurch zu einer starken Verringerung des Patientengutes für die statistische Auswertung. Da die Ergebnisse der plantaren Druckverteilung unter anderem auch von Faktoren wie Alter^(56, 70), Körpergewicht⁽⁷²⁾ und Geschlecht^(27, 65, 68) beeinflusst werden, wäre eine Unterteilung der Patienten nach bestimmten Kriterien sinnvoll gewesen. Dies war aber auf Grund der geringen Fallzahl nicht möglich.

Abschließend lässt sich sagen, dass nach Hallux valgus Operationen Veränderungen in Bezug auf den plantaren Spitzendruck über den Bereichen MT1, MT23 und MT45 gemessen werden können. Nach einem Abfall des plantaren Spitzendrucks 6 Wochen postoperativ kommt es bis zu 24 Wochen postoperativ wieder zu einem Anstieg des plantaren Spitzendrucks auf das präoperative Niveau über MT 1 und MT 23. Über MT 45 steigt der plantare Spitzendruck 24 Wochen sogar über das präoperative Niveau hinaus. Auch der AOFAS-Score und die Patientenzufriedenheit verbessern sich nach der Operation signifikant. Inwieweit diese Ergebnisse jedoch von dem gewählten Operationsverfahren abhängig sind, müsste mit einer größeren Fallzahl erneut eruiert werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Wülker N, Kluba T, Rehart S, Reize P, Roetman B, Rudert M. Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2010.
2. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. 7., überarb. Aufl. ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2014.
3. Breusch S, Mau H, Sabo D. Klinikleitfaden Orthopädie. München, Jena: Urban&Fischer; 2006.
4. Krämer J, Joachim G. Orthopädie. Heidelberg: Springer; 2004.
5. Rössler H, Rüter W. Orthopädie und Unfallchirurgie. München: Urban&Fischer; 2005.
6. Netter FH. Netters Orthopädie. Stuttgart: Thieme; 2001.
7. Zhu X, Zhao Z, Xu D, Xu D. [The design of plantar pressure distribution monitoring system and preliminary clinical application]. Sheng wu yi xue gong cheng xue za zhi = Journal of biomedical engineering = Shengwu yixue gongchengxue zazhi. 2014;31(2):439-44.
8. Galica AM, Hagedorn TJ, Dufour AB, Riskowski JL, Hillstrom HJ, Casey VA, et al. Hallux valgus and plantar pressure loading: the Framingham foot study. Journal of foot and ankle research. 2013;6(1):42.
9. Hurn SE, Vicenzino B, Smith MD. Functional impairments characterizing mild, moderate, and severe hallux valgus. Arthritis care & research. 2015;67(1):80-8.
10. Bryant AR, Tinley P, Cole JH. Plantar pressure and radiographic changes to the forefoot after the Austin bunionectomy. Journal of the American Podiatric Medical Association. 2005;95(4):357-65.
11. Schiek KM. Etablierung der pedobarographischen Laufbandanalyse anhand des Vergleichs von Fußgesunden

und Hallux valgus-Patienten [Dissertation]. Tübingen: Medizinische Fakultät der Eberhardn Karls Universität zu Tübingen; 2014

12. Thomas MJ, Roddy E, Zhang W, Menz HB, Hannan MT, Peat GM. The population prevalence of foot and ankle pain in middle and old age: a systematic review. *Pain*. 2011;152(12):2870-80.

13. Hill CL, Gill TK, Menz HB, Taylor AW. Prevalence and correlates of foot pain in a population-based study: the North West Adelaide health study. *Journal of foot and ankle research*. 2008;1(1):2.

14. Leveille SG, Guralnik JM, Ferrucci L, Hirsch R, Simonsick E, Hochberg MC. Foot pain and disability in older women. *American journal of epidemiology*. 1998;148(7):657-65.

15. Groarke P, Galvin R, Kelly J, Stephens MM. Quality of life in individuals with chronic foot conditions: a cross sectional observational study. *Foot*. 2012;22(2):66-9.

16. Adam SP, Choung SC, Gu Y, O'Malley MJ. Outcomes after scarf osteotomy for treatment of adult hallux valgus deformity. *Clinical orthopaedics and related research*. 2011;469(3):854-9.

17. Hofstaetter SG, Schuh R, Trieb K, Trnka HJ. [Modified chevron osteotomy with lateral release and screw fixation for treatment of severe hallux deformity]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2012;150(6):594-600.

18. Benvenuti F, Ferrucci L, Guralnik JM, Gangemi S, Baroni A. Foot pain and disability in older persons: an epidemiologic survey. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1995;43(5):479-84.

19. Wirth C-J, Arnold J. Orthopädie und orthopädische Chirurgie.Fuß.Das Standardwerk für Klinik und Praxis. Stuttgart,New York: Thieme; 2002.

20. Wulker N. [Hallux valgus]. *Der Orthopäde*. 1997;26(7):654-64.

21. Nix S, Smith M, Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *Journal of foot and ankle research*. 2010;3:21-.
22. Roddy E, Zhang W, Doherty M. Prevalence and associations of hallux valgus in a primary care population. *Arthritis and rheumatism*. 2008;59(6):857-62.
23. Janssen DM, Sanders AP, Guldemond NA, Hermus J, Walenkamp GH, van Rhijn LW. A comparison of hallux valgus angles assessed with computerised plantar pressure measurements, clinical examination and radiography in patients with diabetes. *Journal of foot and ankle research*. 2014;7:33.
24. Nguyen US, Hillstrom HJ, Li W, Dufour AB, Kiel DP, Procter-Gray E, et al. Factors associated with hallux valgus in a population-based study of older women and men: the MOBILIZE Boston Study. *Osteoarthritis and cartilage*. 2010;18(1):41-6.
25. Hecht PJ, Lin TJ. Hallux valgus. *The Medical clinics of North America*. 2014;98(2):227-32.
26. Coughlin MJ, Jones CP. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2007;28(7):759-77.
27. Ferrari J, Watkinson D. Foot pressure measurement differences between boys and girls with reference to hallux valgus deformity and hypermobility. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2005;26(9):739-47.
28. Perera AM, Mason L, Stephens MM. The pathogenesis of hallux valgus. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2011;93(17):1650-61.

29. Zirngibl B, Grifka J, Baier C, Gotz J. [Hallux valgus : Etiology, diagnosis, and therapeutic principles]. *Der Orthopade*. 2017;46(3):283-96.
30. Munteanu SE, Menz HB, Wark JD, Christie JJ, Scurrah KJ, Bui M, et al. Hallux valgus, by nature or nurture? A twin study. *Arthritis care & research*. 2016.
31. Wulker N, Mittag F. The treatment of hallux valgus. *Deutsches Arzteblatt international*. 2012;109(49):857-67; quiz 68.
32. Gabel M, Kirch H. Differenzialindikation zur Hallux valgus-Therapie.
33. Bascarevic Z, Vukasinovic ZS, Bascarevic VD, Stevanovic VB, Spasovski DV, Janicic RR. Hallux valgus. *Acta chirurgica iugoslavica*. 2011;58(3):107-11.
34. Wulker N. [Failures of hallux valgus surgery]. *Der Orthopade*. 2011;40(5):384-6, 8-91.
35. Ray A, Crevoisier X, Assal M. [What's new in forefoot surgery]. *Revue medicale suisse*. 2010;6(276):2459-62.
36. Wülker N, Wirth J. Differenzierte Therapie des Hallux valgus. *Dtsch Arztebl International*. 1996;93(17):1111-.
37. <http://www.lexikon-orthopaedie.com/pdx.pl?dv=0&id=00800> (16.02.2018) [
38. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-018l_S2e_Hallux_Valgus_2014-04_01.pdf (16.02.2018) [
39. https://www.mh-hannover.de/fileadmin/kliniken/unfallchirurgie/Bilder/Veranstaltungen/Unfallseminar/2011/Hallux_valgus_Komplikation_UCH.pdf (16.02.2018) [
40. Bai LB, Lee KB, Seo CY, Song EK, Yoon TR. Distal chevron osteotomy with distal soft tissue procedure for moderate to severe hallux valgus deformity. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2010;31(8):683-8.
41. Trnka H-J, Zembsch A, Easley ME, Salzer m, Ritschl P, Myerson MS. The Chevron Osteotomy for Correction of

Hallux Valgus. Comparison of Findings After Two and Five Years of Follow-up*. 2000;82(10):1373-.

42. Oh IS, Choi SW, Kim MK, Lee SY, Lee JS. Clinical and radiological results after modified distal metatarsal osteotomy for hallux valgus. Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society. 2008;29(5):473-7.

43. http://www.orthoschneider.at/Operationsberatung/Fuss_und_Sprunggelenk/Hallux-Operationen/hallux-operationen.html (01.02.2018) [

44. <http://www.hessingpark-clinic.de/fachbereiche/fuss/opmethoden/chevron-osteotomie/> (01.02.2018) [

45. http://www.handchirurgie-ravensburg.de/de/krankheitsbilder-fuss/beitraege/hallux_valgus-grosszehenballen.php (01.02.2018) [

46. <https://www.orthopaede-bayern.de/leistungsspektrum/operative-therapie/fu%C3%9Fchirurgie-hallux-valgus/> (17.02.2018) [

47. http://www.daldosch.at/schuhe_wien/orthopaedieschuh/facharzt_orthopaedie/grosszehe.ngrundgelenk_arthrose.htm (17.02.2018) [

48. <http://www.fusszentrum.at/diagnose-behandlung/vorfuss/hallux-rigidus.html> (17.02.2018) [

49. Operationsberichte Orthopädie und Unfallchirurgie. 2 ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016.

50. Operative Orthopädie und Traumatologie. München: Urban & Vogel; 1989.

51. Schuh R, Adams S, Hofstaetter SG, Krismer M, Trnka HJ. Plantar loading after chevron osteotomy combined with postoperative physical therapy. 2010 Nov. Report No.: 1071-1007 (Print)
1071-1007 Contract No.: 11.

52. Schuh R, Hofstaetter SG, Adams SB, Jr., Pichler F, Kristen KH, Trnka HJ. Rehabilitation after hallux valgus

surgery: importance of physical therapy to restore weight bearing of the first ray during the stance phase. *Physical therapy*. 2009;89(9):934-45.

53. Lorei T, Klarner H, Rosenbaum D. [Influence of postoperative shoes on plantar pressure patterns]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*. 2006;144(2):153-7.

54. Segal A, Rohr E, Orendurff M, Shofer J, O'Brien M, Sangeorzan B. The effect of walking speed on peak plantar pressure. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2004;25(12):926-33.

55. Stoquart G, Detrembleur C, Lejeune T. Effect of speed on kinematic, kinetic, electromyographic and energetic reference values during treadmill walking. *Neurophysiologie clinique = Clinical neurophysiology*. 2008;38(2):105-16.

56. Scott G, Menz HB, Newcombe L. Age-related differences in foot structure and function. *Gait & posture*. 2007;26(1):68-75.

57. Suppé B, Bongartz M. *FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt : Brustkorb, Arme und Kopf untersuchen und behandeln*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013.

58. Beckers D, Deckers J. *Ganganalyse und Gangschulung : therapeutische Strategien für die Praxis*. Berlin ; Heidelberg [u.a.]: Springer; 1997.

59. van der Leeden M, Dekker JH, Siemonsma PC, Lek-Westerhof SS, Steultjens MP. Reproducibility of plantar pressure measurements in patients with chronic arthritis: a comparison of one-step, two-step, and three-step protocols and an estimate of the number of measurements required. 2004 Oct. Report No.: 1071-1007 (Print)
1071-1007 Contract No.: 10.

60. Hughes J. *The clinical use of pedobarography*. 1993. Report No.: 0001-6462 (Print)
0001-6462 Contract No.: 1.

61. Giacomozzi C, Stebbins JA. Anatomical masking of pressure footprints based on the Oxford Foot Model: validation and clinical relevance. *Gait & posture*. 2017;53:131-8.
62. Guven M, Kocadal O, Akman B, Sayli U, Altintas F. Pedobarographic Analysis in Total Knee Arthroplasty. *The journal of knee surgery*. 2017.
63. Martinez-Nova A, Sanchez-Rodriguez R, Perez-Soriano P, Llana-Belloch S, Leal-Muro A, Pedrera-Zamorano JD. Plantar pressures determinants in mild Hallux Valgus. *Gait & posture*. 2010;32(3):425-7.
64. Dr. med. Nedder K-H. Fußgesund bei Diabetes. Stuttgart: TRIAS; 2005. 87 p.
65. Hennig EM, Milani TL. [The tripod support of the foot. An analysis of pressure distribution under static and dynamic loading]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*. 1993;131(3):279-84.
66. Götz-Neumann K. Gehen verstehen : Ganganalyse in der Physiotherapie ; 18 Tab. 2. unveränd. Aufl. ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2006.
67. De Cock A, De Clercq D, Willems T, Witvrouw E. Temporal characteristics of foot roll-over during barefoot jogging: reference data for young adults. 2005 Jun. Report No.: 0966-6362 (Print)
0966-6362 Contract No.: 4.
68. Iida H, Yamamuro T. Kinetic analysis of the center of gravity of the human body in normal and pathological gaits. *Journal of biomechanics*. 1987;20(10):987-95.
69. Hurschler C, Wulker N, Windhagen H, Hellmers N, Plumhoff P. Evaluation of the lag sign tests for external rotator function of the shoulder. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons [et al]*. 2004;13(3):298-304.
70. Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatrics*. 2005;5:8-.

71. Menz HB, Morris ME. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. *Gait & posture*. 2006;24(2):229-36.
72. Hotfiel T, Carl HD, Wendler F, Jendrissek A, Heiss R, Swoboda B. Plantar pressures increase with raising body weight: A standardised approach with paired sample using neutral shoes. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2016.
73. Titianova EB, Mateev PS, Tarkka IM. Footprint analysis of gait using a pressure sensor system. 2004 Apr. Report No.: 1050-6411 (Print)
1050-6411 (Linking) Contract No.: 2.
74. Koller U, Willegger M, Windhager R, Wanivenhaus A, Trnka HJ, Schuh R. Plantar pressure characteristics in hallux valgus feet. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*. 2014;32(12):1688-93.
75. Waldecker U. Metatarsalgia in hallux valgus deformity: a pedographic analysis. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*. 2002;41(5):300-8.
76. <https://fuss-sprunggelenk-akademie.de/vorfuss/hallux-valgus-ballenzehe/hallux-valgus.html> (24.02.2018) [
77. Yavuz M, Hetherington VJ, Botek G, Hirschman GB, Bardsley L, Davis BL. Forefoot plantar shear stress distribution in hallux valgus patients. *Gait & posture*. 2009;30(2):257-9.
78. Dhanendran M, Pollard JP, Hutton WC. Mechanics of the hallux valgus foot and the effect of Keller's operation. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1980;51(6):1007-12.
79. daum, electronic, GmbH. Gebrauchsanweisung, ergo_run medical8. 2007.
80. daum, electronic, GmbH. <http://daum-electronic.de/>. (2012).

81. zebris, Medical, GmbH. Messsystem zur Gang- und Standanalyse FDM-T, technische Daten und Bedienungsanleitung. 2009.
82. <https://www.viomedo.de/klinische-studien/1816/grosszehengrundgelenksarthrodese-versus-totalprothetischer-gelenkersatz-prospektive-randomisierte-studie-hallux-rigidus> 21.07.2018 [
83. zebris, Medical, GmbH. WinFDM-T, Version 2.1.X - Benutzerhandbuch2009.
84. zebris, Medical, GmbH. <http://www.zebris.de/> 25.12.2016 [
85. GmbH zm. <http://www.zebris.de/medizin/produkte-loesungen/ganganalyse-fdm-t/> 25.12.2016 [
86. Müller C. Die Hallux-valgus-Deformität und Ihre Behandlung mit der Austin-Osteotomie. Ergebnisse einer klinischen Nachuntersuchung. [Dissertation]. München Medizinische Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München; 2006.
87. Sole G, Pataky T, Sole CC, Hale L, Milosavljevic S. Age-related plantar centre of pressure trajectory changes during barefoot walking. *Gait & posture*. 2017;57:188-92.
88. Wollesen B, Mattes K, Ronnfeldt J. Influence of age, gender and test conditions on the reproducibility of Dual-Task walking performance. *Aging clinical and experimental research*. 2016.
89. Wass E, Taylor NF, Matsas A. Familiarisation to treadmill walking in unimpaired older people. *Gait & posture*. 2005;21(1):72-9.
90. Matsas A, Taylor N, McBurney H. Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. *Gait & posture*. 2000;11(1):46-53.
91. Rosenbaum D, Becker HP. Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot and Ankle Surgery*. 1997;3(1):1-14.

92. Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L. Reliability of pressure measurements: the EM ED F system. *Clinical biomechanics*. 1991;6(1):14-8.
93. Alvarez C, De Vera M, Chhina H, Black A. Normative data for the dynamic pedobarographic profiles of children. *Gait & posture*. 2008;28(2):309-15.
94. Oladeji O, Stackhouse C, Gracely E, Orlin M. Comparison of the two-step and midgait methods of plantar pressure measurement in children. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2008;98(4):268-77.
95. Zammit GV, Menz HB, Munteanu SE. Reliability of the TekScan MatScan(R) system for the measurement of plantar forces and pressures during barefoot level walking in healthy adults. *Journal of foot and ankle research*. 2010;3:11.
96. Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D. Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait & posture*. 2008;27(4):706-9.
97. Murphy DF, Beynon BD, Michelson JD, Vacek PM. Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2005;26(2):171-9.
98. Milani TL, Retzlaff S. [Analysis of pressure distribution for the evaluation of gait in patients with hallux valgus surgery]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*. 1995;133(4):341-6.
99. Lau JT, Mahomed NM, Schon LC. Results of an Internet survey determining the most frequently used ankle scores by AOFAS members. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2005;26(6):479-82.

100. Van Lieshout EM, De Boer AS, Meuffels DE, Den Hoed PT, Van der Vlies CH, Tuinebreijer WE, et al. American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Ankle-Hindfoot Score: a study protocol for the translation and validation of the Dutch language version. *BMJ open*. 2017;7(2):e012884.
101. Chan HY, Chen JY, Zainul-Abidin S, Ying H, Koo K, Rikhranj IS. Minimal Clinically Important Differences for American Orthopaedic Foot & Ankle Society Score in Hallux Valgus Surgery. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2017;38(5):551-7.
102. Malviya A, Makwana N, Laing P. Correlation of the AOFAS scores with a generic health QUALY score in foot and ankle surgery. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2007;28(4):494-8.
103. Choi KJ, Lee HS, Yoon YS, Park SS, Kim JS, Jeong JJ, et al. Distal metatarsal osteotomy for hallux varus following surgery for hallux valgus. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2011;93(8):1079-83.
104. Vasso M, Del Regno C, D'Amelio A, Schiavone Panni A. A modified Austin/chevron osteotomy for treatment of hallux valgus and hallux rigidus. *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology*. 2016;17(1):89-93.
105. Markbreiter LA, Thompson FM. Proximal metatarsal osteotomy in hallux valgus correction: a comparison of crescentic and chevron procedures. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 1997;18(2):71-6.
106. Coughlin MJ, Grebing BR, Jones CP. Arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint for idiopathic hallux valgus: intermediate results. *Foot & ankle international /*

American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society. 2005;26(10):783-92.

7. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Orthopädischen Universitätsklinik der Eberhard Karls Universität Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. N. Wülker durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Prof. Dr. M. Wünschel und PD Dr. F. Mittag.

Die Betreuung während der Experimente und Korrektur des Manuskripts erfolgte durch PD Dr. F. Mittag.

Sämtliche Untersuchungen wurden nach Einarbeitung durch Katharina Schiek von mir in Zusammenarbeit mit Katharina Schiek und Sylvia Pfleiderer durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte durch Dr. rer. nat. Karin Bausenhardt und Dr. Felix Bausenhardt.

Frau Schiek hat ebenfalls eine Dissertationsschrift mit identischem Versuchsaufbau wie in dieser Studie verfasst. Das Patientengut dieser Studie deckt sich teilweise mit dem präoperativen Patientengut der Hallux valgus Patienten von Frau Schiek. Die postoperativen Untersuchungen der Patienten dieser Studie erfolgten unabhängig von der Studie von Frau Schiek.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Rauenberg, den

8. Veröffentlichungen

Die Veröffentlichung der Daten dieser Dissertationsschrift in einer international anerkannten Fachzeitschrift in englischer Sprache ist geplant.

9. Danksagung

In erster Linie gilt mein Dank Prof. Dr. N. Wülker für die Überlassung dieses sehr interessanten Themas.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. M. Wünschel und PD Dr. F. Mittag für die engagierte Unterstützung in der Erstellung dieser Arbeit sowie für die vielen hilfreichen Ratschläge.

Für die Hilfe bei der statistischen Auswertung bedanke ich mich recht herzlich bei Dr. rer. nat. Karin Bausenhardt und Dr. Felix Bausenhardt sowie bei Frau Aline Naumann.

Dr. Andrea Lorenz gilt mein Dank für die Unterstützung bei Fragen zu der verwendeten Software.

Allen Mitarbeitern und Kollegen in der Ambulanz danke ich für eine angenehme Zusammenarbeit.

Nicht zuletzt gilt der Dank allen Patienten, die durch ihre Teilnahme an der Studie diese Arbeit ermöglicht haben.

11.2. Untersuchungs- und Anamnesebogen für Patienten

- Hallux valgus-Studie -	
Klinik: <u>Orthopädische Universitätsklinik Tübingen</u>	Kliniknummer: <u>01</u>
Patienteninitialen: __ __	Geburtsdatum: __ _ _ . __ _ _ . __ _ _ _ _
__ _ _	Tag Monat Jahr
1.Vorname Nachname	

- Klinische Untersuchung präoperativ / Seite 1 -

1.	Datum der Untersuchung	__ _ _ . __ _ _ . __ _ _ _ _
		Tag Monat Jahr
Analgetika:		
2.	<u>Nicht-Opioide</u>	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
3.	falls ja: Einnahmehäufigkeit	<input type="radio"/> regelmäßig <input type="radio"/> bei Bedarf
4.	<u>Schwache Opioide</u>	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
5.	falls ja: Einnahmehäufigkeit	<input type="radio"/> regelmäßig <input type="radio"/> bei Bedarf
6.	<u>Starke Opioide</u>	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
7.	falls ja: Einnahmehäufigkeit	<input type="radio"/> regelmäßig <input type="radio"/> bei Bedarf
Schmerzempfinden nach VAS (0-100):		
8.	In Ruhe	__ _ _
9.	Bei Bewegung	__ _ _
10.	Bei Belastung	__ _ _
11.	Subjektive Zufriedenheit/Funktion	<input type="radio"/> völlig <input type="radio"/> teilweise <input type="radio"/> gar nicht
12.	Subjektive Zufriedenheit/Aussehen	<input type="radio"/> völlig <input type="radio"/> teilweise <input type="radio"/> gar nicht
13.	Deformität	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
14.	Schwellung	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
15.	Überwärmung	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
16.	Rötung	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
17.	Gangbild (barfuß)	<input type="radio"/> plantigrad <input type="radio"/> Abrollen über Fußaußenrand
18.	Max. schmerzfreie Gehstreckendauer (min)	__ _ _
19.	Schuhe	<input type="radio"/> Konfektion <input type="radio"/> Maßschuhe <input type="radio"/> Verbandschuh
20.	Belastung	<input type="radio"/> voll <input type="radio"/> teil
21.	Einlagen	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja

- Hallux valgus-Studie -

Klinik: Orthopädische Universitätsklinik Tübingen Kliniknummer: 01

Patienteninitialen: |_| |_| Geburtsdatum: |_|_|.|_|_|.|_|_|_|_|_| Patientennummer: |_|_|_|_|
1.Vorname Nachname Tag Monat Jahr

- Klinische Untersuchung 6 Wochen postoperativ / Seite 2 -

	Pedographie:	(alle Werte N/cm ²)
24.	Zone1	_ _ _ . _
25.	Zone2	_ _ _ . _
26.	Zone3	_ _ _ . _
27.	Zone4	_ _ _ . _
28.	Zone5	_ _ _ . _
29.	Zone6	_ _ _ . _
30.	Zone7	_ _ _ . _
31.	Zone8	_ _ _ . _

32. Prüfarzt: _____

Datum: |_|_|_|.|_|_|_|_|_| _____ Unterschrift:
Tag Monat Jahr

11.3. Operationsbogen

- Hallux valgus-Studie -	
Klinik: <u>Orthopädische Universitätsklinik Tübingen</u>	Kliniknummer: <u>01</u>
Patienteninitialen: _ _ _ _	Geburtsdatum: _ _ _ . _ _ _ . _ _ _ _ _ _
_ _ _ _	Tag Monat Jahr

- Operation -

1.	Datum der Operation	_ _ _ . _ _ _ . _ _ _ _ _ _
		Tag Monat Jahr
2.	Dauer der Operation (min)	_ _ _ _
3.	Narkoseart	<input type="radio"/> Vollnarkose <input type="radio"/> lokale Anästhesie
Operationsverfahren		
4.	Basisosteotomie mit distalem Weichteileingriff	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
5.	Chevronosteotomie	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
6.	Resektionsarthroplastik	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
7.	Großzehengrundgelenksarthrodese	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja

8.	Prüfarzt: _____	
	Datum: _ _ _ . _ _ _ . _ _ _ _ _ _	Unterschrift:
	_ _ _ _	
	Tag Monat Jahr	

11.4. Radiologische Untersuchung

- Hallux valgus-Studie -			
Klinik: <u>Orthopädische Universitätsklinik Tübingen</u>		Kliniknummer: <u>01</u>	
Patienteninitialen: __ __	Geburtsdatum: __ _ _ . __ _ _ . __ _ _ _ _	Patientennummer: __ _ _	
<small>1.Vorname Nachname</small>	<small>Tag Monat Jahr</small>		

- Radiologische Untersuchung 6 Wochen postoperativ -

1.	Datum der Untersuchung	_ _ _ . _ _ _ . _ _ _ _ _ <small>Tag Monat Jahr</small>
2.	Hallux valgus Winkel (Grad)	_ _
3.	Intermetatarsale-Winkel ½ (Grad)	_ _
4.	Lockerungszeichen / Materialbruch	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
5.	Falls ja, bitte beschreiben: _____	
6.	Exostosenbildung	<input type="checkbox"/> nein <input type="radio"/> ja
<u>Bei Großzehengrundgelenksarthrodese:</u>		
7.	Arthrodesenwinkel dorsal (Grad)	_ _
8.	Durchbauung	_ _ (1=nein, 2=ja, 3=teilweise)

9.	Prüfarzt: _____	
	Datum: _ _ _ . _ _ _ . _ _ _ _ _	Unterschrift:

	<small>Tag Monat Jahr</small>	

11.5. Fragebogen AOFAS-Score

- Hallux valgus-Studie -	
Klinik: <u>Orthopädische Universitätsklinik Tübingen</u>	Kliniknummer: <u>01</u>
Patienteninitialen: _ _ _ _	Geburtsdatum: _ _ _ _ . _ _ _ _ . _ _ _ _ _ _ _ _
_ _ _ _ _	Tag Monat Jahr
1.Vorname	Nachname

- AOFAS-Score -

1.	Datum	_ _ _ _ _ . _ _ _ _ _ _ . _ _ _ _ _ _ _ _	
		Tag Monat Jahr	
2.	Schmerzempfinden	kein wenig, gelegentlich mäßig, täglich stark, immer	40 30 20 0
3.	Funktion: Einschränkung der Aktivität	keine Einschränkung in der Freizeit, aber nicht bei alltäglichen Verrichtungen bei täglichen Arbeiten	10 7 4
4.	Beweglichkeit im Metatarsophalangealgelenk (Dorsalextension/Plantarflexion)	>75° (normal) 30 – 74° (mäßige Einschränkung) <30° (starke Einschränkung)	10 5 0
5.	Beweglichkeit des IP-Gelenks (Plantarflexion)	keine Einschränkung Starke Einschränkung(<10°)/ständig	5 0
6.	Schuhwerk	normal Einlagen Sonderanfertigung	10 5 0
7.	Stabilität im MTP-/IP-Gelenk (in allen Ebenen)	stabil Instabil	5 0
8.	Hornhautbildung im MTP-/IP-Gelenk-Bereich	kein Kallus, asymptomatisch Kallus, symptomatisch	5 0
9.	Ausrichtung	gut befriedigend (asymptomatisch) schlecht (symptomatisch)	15 8 0

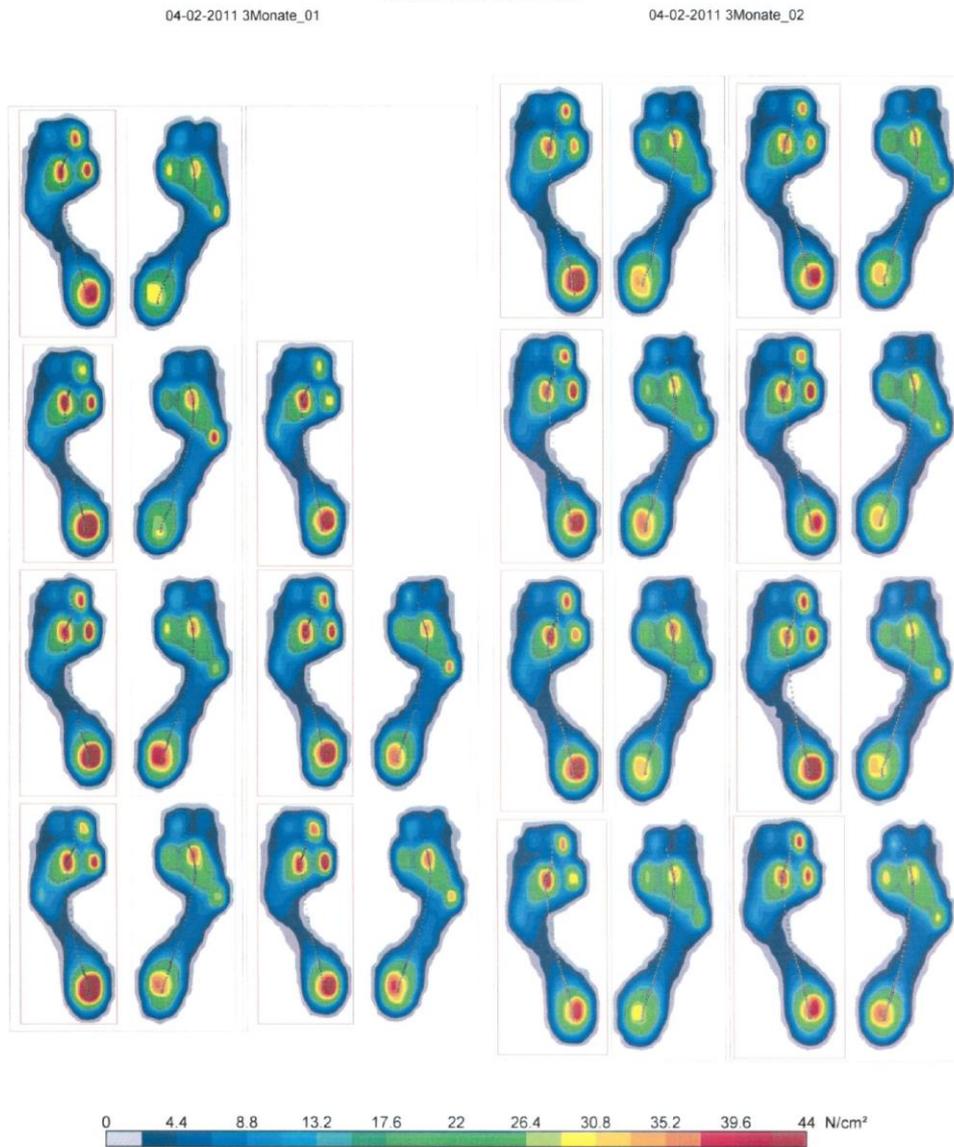
10.	Prüfarzt: _____	
	Datum: _ _ _ _ . _ _ _ _ . _ _ _ _ _ _ _ _	Unterschrift: _____
	Tag Monat Jahr	

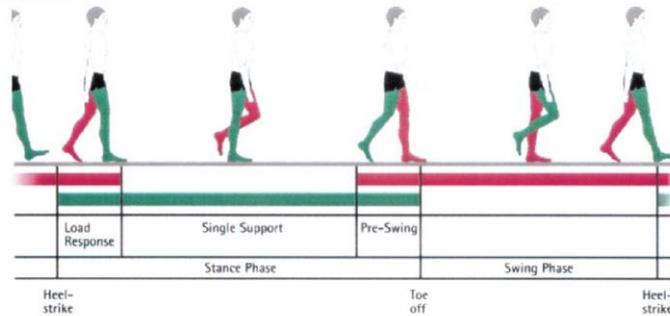
11.6. Report der Ganganalyse

Projekt: HalluxvalgusStudie
 Patient: 13, DL
 Laufende Aufzeichnung: 04-02-2011 3Monate_01
 Vergleichene Aufzeichnung: 04-02-2011 3Monate_02

zebris
 Datum der Messung: 04.02.2011 10:27

Maximaldruckbilder





Parameter

Fußrotation, grad	Links	04-02-2011 3Monate_01	12.4+/-1.4	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	12.7+/-0.8	
Schrittweite, cm		04-02-2011 3Monate_01	9+/-1	
		04-02-2011 3Monate_02	9+/-1	
Schrittlänge (Step length), cm	Links	04-02-2011 3Monate_01	53+/-1	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	56+/-1	
Schrittzeit (Step time), sek	Links	04-02-2011 3Monate_01	0.53+/-0.01	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	0.54+/-0.01	
Standphase (Stance phase), %	Links	04-02-2011 3Monate_01	65.2+/-0.7	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	65.3+/-0.6	
Stoßdämpfungsphase (Load response), %	Links	04-02-2011 3Monate_01	14.7+/-0.9	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	15.5+/-0.6	
Mittlere Standphase (Single support), %	Links	04-02-2011 3Monate_01	35.9+/-0.7	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	35.7+/-1.2	
Abstoßphase (Pre-swing), %	Links	04-02-2011 3Monate_01	14.8+/-1.3	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	14.1+/-1.1	
Schwungphase (Swing phase), %	Links	04-02-2011 3Monate_01	34.8+/-0.7	
	Rechts	04-02-2011 3Monate_02	34.7+/-0.6	
Doppelstandphase (Double support), %		04-02-2011 3Monate_01	29.4+/-1.6	
		04-02-2011 3Monate_02	29.5+/-1.4	
Doppelschrittlänge (Stride length), cm		04-02-2011 3Monate_01	111+/-2	
		04-02-2011 3Monate_02	115+/-2	
Doppelschrittzeit (Stride time), sek		04-02-2011 3Monate_01	1.07+/-0.01	
		04-02-2011 3Monate_02	1.10+/-0.02	
Kadenz (Cadence), Schr/Min		04-02-2011 3Monate_01	56+/-1	
		04-02-2011 3Monate_02	54+/-1	

Normwerte: 2-5 km/h

Kommentar zum Patient

Kommentar zur Messung

	COP - Parameter		04-02-2011 3Monate_02	
	04-02-2011 3Monate_01		Links	Rechts
	Links	Rechts	Links	Rechts
Länge der Ganglinie, mm	203+/-3	197+/-3	204+/-4	199+/-2
Mittlere Standphase, mm	138+/-9	137+/-8	138+/-9	136+/-9
Ant/post position, mm	121		121	
Ant/Post Variabilität, mm	3		3	
Seitliche Verlagerung, mm	0		-0	
Seitliche Variabilität, mm	3		3	

