

Aus dem Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der
Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Direktor/Direktorin: Prof. Dr. med. Karl-Stefan Delank

**Modifizierte Lapidusarthrodese mit plantarer Plattenosteosynthese und
interfragmentärer Kompressionsschraube: Eine klinische, radiologische und
pedobarografische Analyse**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von

Peter Savov

geboren am 08.05.1991 in Ilmenau

Betreuer/Betreuerin: Frau. PD Dr. med. habil. Natalia Gutteck

Gutachter/Gutachterin:

Herr Prof. Dr. med. K.-St. Delank

Frau Prof. Dr. med. Ch. Stukenborg-Colsman (Hannover)

Herr Prof. Dr. med. T. Mittelmeier (Rostock)

13.09.2016

08.05.2017

Referat

Die Hypermobilität im Tarsometatarsale-I-Gelenk (TMT-I) stellt eine zentrale Rolle in der Entstehung des Hallux Valgus (HV) dar. Die TMT-I-Arthrodesen sind eine etablierte Methode zur Korrektur der HV-Deformität bei einer vorhandenen Pathologie im TMT-I-Gelenk. Plantare Plattenosteosynthesen zeigen biomechanisch relevante Vorteile im Vergleich zu anderen Osteosyntheseverfahren. Es werden klinische, radiologische und pedobarographische Daten zur Analyse des Verfahrens erhoben.

In der vorliegenden prospektiven Arbeit wurden 28 konsekutive Patienten mit 30 TMT-I-Arthrodesen behandelt. Dazu wurden eine interfragmentäre Zugschraube und eine plantare Plattenosteosynthese verwendet. Direkt nach der Operation wurden die Patienten unter Vollbelastung in einem Arthrodeseschuh mobilisiert. Die klinischen und radiologischen Untersuchungen wurden sowohl präoperativ als auch unmittelbar postoperativ sowie in der Folge sechs Wochen, drei Monate, sechs Monate und ein Jahr postoperativ durchgeführt. Radiologisch wurden der Intermetatarsalwinkel, der Hallux-Valgus-Winkel und die Elevation des ersten Os Metatarsale (MT) gemessen. Die Erhebung des AOFAS-Vorfuß-Score und die pedobarographische Untersuchung fanden präoperativ und ein Jahr postoperativ statt.

Die postoperative Auswertung des AOFAS Score zeigte eine deutliche Verbesserung der klinischen und subjektiven Ergebnisse der Patienten. Die radiologischen Resultate stimmten mit den in der Literatur beschriebenen Werten überein. Patienten mit einer vollständig korrigierten Elevation des MT-I hatten einen signifikant höheren AOFAS Score als Studienteilnehmer mit persistierender Elevation. Transfermetatarsalgien konnten ohne zusätzliche Eingriffe an den lateralen Metatarsophalangeal-Gelenken (MTP) reduziert werden. Die pedobarographische Auswertung ergab eine postoperative Lastenaufnahme unter dem medialen Vorfuß sowie ihre Abhängigkeit von der Einstellung des MT-I in der sagittalen Ebene. Eine relative Reduktion des Spitzendrucks unter dem zentralen Vorfuß konnte beobachtet werden. Die sofortige Vollbelastung nach der Operation führte nicht zu einer Bildung von Pseudarthrosen.

Die sehr guten Ergebnisse bestätigen die Verwendung der TMT-I-Arthrodesen als Standardverfahren zur Therapie eines mittleren bis schweren Hallux Valgus.

Savov, Peter: Modifizierte Lapidusarthrodesen mit plantarer Plattenosteosynthese und interfragmentärer Kompressionsschraube: Eine klinische, radiologische und pedobarographische Analyse, Halle (Saale), Univ., Med. Fak.; Diss., 65 Seiten, 2016

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 1.1 | Ätiologie | 2 |
| 1.1.2 | Primärer Hallux Valgus..... | 2 |
| 1.1.1 | Sekundärer Hallux Valgus..... | 5 |
| 1.2 | Pathologie | 5 |
| 1.3 | Konservative Therapie des Hallux valgus..... | 8 |
| 1.4 | Operative Therapie des Hallux valgus | 9 |
| 1.4.1 | TMT-I-Korrekturarthrodese | 10 |
| 1.4.2 | Laterale Weichteilprozedur und Cheilektomie | 12 |
| 1.4.3 | Akin-Osteotomie..... | 13 |
| 2 | ZIELSETZUNG DER ARBEIT..... | 15 |
| 3 | MATERIAL UND METHODEN..... | 16 |
| 3.1 | Ein- und Ausschlusskriterien | 16 |
| 3.2 | Unerwünschte Ereignisse | 16 |
| 3.3 | Untersuchungsverfahren | 16 |
| 3.3.1 | Anamnese und Klinische Untersuchung..... | 16 |
| 3.3.2 | AOFAS Score | 18 |
| 3.3.3 | Radiologische Messungen | 20 |
| 3.3.4 | Pedobarografie | 21 |
| 3.4 | Operation | 23 |
| 3.4.1 | Operationstechnik | 23 |
| 3.4.2 | Mobilisation | 24 |
| 3.5 | Statistische Auswertung..... | 25 |
| 4 | ERGEBNISSE..... | 26 |
| 4.1 | Allgemeine Patientendaten | 26 |
| 4.2 | Zusätzliche Operative Eingriffe | 26 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.3 | Unerwünschte Ereignisse | 26 |
| 4.4 | AOFAS-Score..... | 27 |
| 4.5 | Radiologische Ergebnisse | 27 |
| 4.5.1 | Gesamtkollektiv..... | 27 |
| 4.5.2 | Einfluss der Elevation des MT-I auf den AOFAS Score | 28 |
| 4.6 | Pedobarografische Ergebnisse | 31 |
| 4.6.1 | Gesamtkollektiv..... | 31 |
| 4.6.2 | Einfluss der Elevation des MT-I auf die Pedobarografie | 33 |
| 4.7 | Einfluss auf Transfermetatarsalgie | 37 |
| 4.8 | Korrelationen | 39 |
| 4.8.1 | Korrelation zwischen AOFAS Score und den radiologischen Daten | 39 |
| 4.8.2 | Korrelation zwischen AOFAS Score und den pedobarografischen Ergebnissen | 40 |
| 4.8.3 | Korrelation zwischen den pedografischen und radiologischen Ergebnissen .. | 41 |
| 5 | DISKUSSION..... | 43 |
| 6 | ZUSAMMENFASSUNG | 55 |
| | LITERATUR..... | 57 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------|--|
| Abb. | Abbildung |
| AOFAS | American Orthopaedic Foot & Ankle Society |
| BMI | Body-Mass-Index |
| BW | Bodyweight |
| CFF | Central forefoot |
| CI | Konfidenzintervall |
| CT | Computertomographie |
| DOUW | Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie |
| ELE | Elevation angle |
| GT | Great toe |
| HL | Heel |
| HV | Hallux valgus |
| HVA | Hallux valgus angle |
| IMA | Intermetatarsal angle |
| IMT | Intermetatarsale |
| LFF | Lateral forefoot |
| Lig. | Ligamentum |
| M. | Musculus |
| MF | Midfoot |
| MFF | Medial forefoot |
| MFK | Mittelfußköpfchen |
| MIN | Minimum |
| MAX | Maximum |
| MT | Metatarsale |
| MTP-Gelenk | Metatarsophalangealgelenk |
| OP | Operation |
| PIP | proximales Interphalangealgelenk |
| Sig. | Signifikanz |
| STABW | Standartabweichung |
| ROM | Range of Motion |
| RR | Relatives Risiko |
| T 2-5 | Toe 2- 5 |
| Tab. | Tabelle |
| TMT-Gelenk | Tarsometatarsalgelenk |

1 Einleitung

Die aus dem lateinischen stammende Wortgruppe Hallux Valgus (HV) kann mit der krummen bzw. nach innen gewölbten Großzehe übersetzt werden (Reiche 2003, S. 769). Der lateinische Begriff „Hallux“, oder auch „Hallas“ (Großzehe), stammt von dem griechischen Verb „hallesthai“ ab, was so viel bedeutet wie „überspringen“ oder auch „aufspringen“ (Scarborough 1992, S. 134ff.). Daraus lässt sich schließen, dass schon in der griechischen Antike die Kenntnis vorlag, dass der Großzehen dazu neigte, seine physiologische Stellung zu verlassen und den zweiten Zeh mit einer Valgusstellung zu überlappen.

Es existieren viele Studien, welche sich mit der Häufigkeit des HV befassen. Jedoch ist die Unterscheidung zwischen einer physiologischen von einer pathologischen Zehenstellung nicht einfach zu treffen, da keine einheitlichen diagnostischen Kriterien vorliegen.

Nix et al. fanden 2010 in einer systematischen Überprüfung mehrerer Datenbanken 78 Artikel, welche sich mit der Prävalenz des HV in einer gesunden Population befassen. Alle Studien zusammenschlossen ergaben Probandenzahlen von ca. 500.000. Es stellte sich heraus, dass 23 % der 18- bis 65-Jährigen sowie 35,7 % der über 65-Jährigen an der Fußdeformität litten. Dies zeigte eine Steigung der Erkrankungsrate im Alter. Wie schon statistisch belegt, gab es eine eindeutige Geschlechterverteilung. 30 % der Frauen und lediglich 13% der Männer wiesen einen HV auf (Nix et al. 2010). Als ein möglicher Grund hierfür wurde die moderne Schuhform diskutiert (Kato und Watanabe 1981). In einer Studie des „National Center for Health statistics“ wurde in der Gesamtpopulation aller Altersgruppen bei 0,9 % eine Fehlstellung des Hallux festgestellt (Adams et al. 1999). Eine jüngere Forschungsarbeit von Roddy et al. stellte bei einer Probandenanzahl von ca. 4.250 die Erkrankung bei 28,4 % fest (Roddy et al. 2008).

Diese Zahlen deuten auf die hohe Prävalenz der Erkrankung hin. Die über 100 Operationsverfahren und die insgesamt hohe Anzahl von verschiedenen Therapiemöglichkeiten zeigen die hohe Bedeutung des Krankheitsbildes.

1.1 Ätiologie

Der HV ist die häufigste Vorfußdeformität und stellt eine übermäßige Abweichung der Großzehe nach lateral dar. Zur Diskussion stehen verschiedene Entstehungsgründe. Prinzipiell sind primäre von sekundären Ursachen zu unterscheiden.

1.1.2 Primärer Hallux Valgus

Bei dem primären HV ist keine Grunderkrankung bekannt, die als Kausalität herangezogen werden kann. Er stellt die häufigste Form dar und wird folgend thematisiert.

Schuhwerk

Der in der Literatur häufig auftauchende Zusammenhang ist die Assoziation mit dem modernen Schuhwerk. Laut Wülker (Wülker 1997b, S. 5f) sind die Eigenschaften von Modeschuhen zwangsläufig der Grund für die Deformität, da sie das genaue Gegenteil von einem konventionellen Schuh mit sich bringen. Die Großzehe wird durch die spitze Schuhform in eine Valgusstellung gedrängt. Zugleich rutscht der gesamte Fuß durch einen hohen Absatz bei jedem Schritt nach vorne. Diese beiden Effekte wirken synergistisch auf die Bewegungsarmut der Zehen. Die Folge sind Veränderungen der Fußmuskulatur und damit eine dauerhafte Störung der empfindlichen Muskelbalance (s.u.). Kato und Watanabe (Kato und Watanabe 1981) beobachteten, dass es vor 1972 in Japan keine Patienten mit einem HV gab. Erst in den Jahren danach, mit zunehmender Zahl von produzierten Lederschuhen und zugleich abfallender Produktionszahl der traditionellen Sandalen „Geta“, traten erste Fälle auf. Sim-Fook und Hodgson (1958) zeigten in einer Studie an Einwohnern der Stadt Hong Kong, dass 33 % der schuhtragenden Personen und nur 1,9 % der Bevölkerung ohne Schuhe einen HV aufwiesen. Laut einer Untersuchung von Nguyen et al. haben Frauen, die im Alter von 20 bis 64 hochhackige Schuhe trugen, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne dieses Merkmal ein erhöhtes relatives Risiko (RR=1.2, 95 % CI: 1.0,1.5) die HV-Deformität zu entwickeln (Nguyen et al. 2010)

Heredität

Ein weiterer zu diskutierender Grund zur Entwicklung eines HV ist die Veranlagung. Schon im letzten Jahrhundert ist ein Zusammenhang mit einer möglichen Vererbung aufgefallen. Sandelin zeigte in einer Studie von 536 operierten Großzehen, dass bei 54 % der Patienten hereditäre Faktoren vorhanden waren (Sandelin 1924). Hardy und Clapham entdeckten bei 63 % ihrer Patienten eine auffällige Familienanamnese. Im Gegensatz dazu hatten Patienten ohne Fußschmerzen eine positive Familienanamnese von unter einem Prozent (Hardy und Clapham, J C R 1951). Eine aktuellere Studie

zeigte, dass bei 83 % von 108 Patienten eine auffällige Familiengeschichte bezüglich der HV-Deformität vorlag (Coughlin und Jones 2007).

Johnston stellte, aufgrund Untersuchungen an einer Familie, die Theorie einer autosomal dominanten Weitergabe mit unvollständiger Penetranz auf (Johnston 1956). Wülker (Wülker 1997b, S. 7f) gibt jedoch den Hinweis, dass ein gehäuftes familiäres Auftreten nicht zwangsläufig etwas mit Veranlagung zu tun haben muss. Einheitliche Schuhgewohnheiten in der Familie könnten auch ein Grund sein.

Metatarsus primus varus und das erste Tarsometatarsalgelenk

Ein vergrößerter Winkel zwischen den ersten und zweiten Os Metatarsale wird als Metatarsus primus varus bezeichnet und ist ein wesentliches Merkmal des Pes-transversoplanus. In ihm wird eine grundlegende Ursache für die Ausbildung eines HV gesehen. Zum ersten Mal wird dies von Volkmann erwähnt (Volkmann 1856). Für Wülker (Wülker 1997b, S. 8ff) besteht jedoch kein zwingender Zusammenhang. Vielmehr findet sich bei jungen Patienten ein weicher Spreizfuß, welcher den Hallux in einem normalen Schuhwerk valgisiert und somit laut Wülker ursächlich ist. Allerdings sollen die Gegebenheiten bei älteren Patienten genau umgekehrt sein. Hier entsteht die kontrakte Valgusstellung durch das zu enge Schuhwerk und begünstigt somit die Entstehung eines Spreizfußes. Craigmile führte eine große Querschnittsstudie an Schulkindern durch. Diese ergab, dass ein HV und ein Metatarsus primus varus nicht zwangsläufig miteinander vergesellschaftet sind (Craigmile 1953).

Ein Metatarsus primus varus bildet sich leichter, wenn die Gelenkfläche zwischen dem MT-I und dem Os Cuneiforme mediale nach medial gekippt ist. Dies wurde von verschiedenen Autoren durch pathologisch-anatomische Untersuchungen bestätigt (Ewald 1912; Reiner 1914; Truslow 1925; Haines und McDougall 1954).

Des Weiteren ist der Einfluss der Mobilität des ersten Tarsometatarsalgelenks (TMT-I-Gelenk) als mögliche Ursache der Großzehendeformität zu sehen. Laut Wülker (Wülker 1997b, S. 8ff) ist eine Hypermobilität dessen in der Horizontalebene ein sicherer Faktor zur Begünstigung eines Metatarsus primus varus. Eine Instabilität in der Sagittalebene wird von Klaue et al. direkt mit den schmerzhaften Beschwerden eines HV in Verbindung gebracht (Klaue et al. 1994). Auch Myerson und Badekas sprechen von einem prädisponierenden Faktor für die Deformität (Myerson und Badekas 2000). Coughlin und Jones (Coughlin und Jones 2007) benutzten eine Messapparatur nach Klaue (Klaue et al. 1994) um die Mobilität des ersten Strahls zu objektivieren und zeigten so, dass Patienten mit einem HV eine erhöhte Beweglichkeit im TMT-I-Gelenk im Vergleich zu gesunden Probanden aufweisen. Dietze et al. zeigten mit Hilfe einer fluroskopischen

dynamischen Bildanalyse sowie mit radiologischen Parametern einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Intermetatarsalwinkel (IMT-Winkel) und dem maximalen Dorsiflexionwinkel des ersten Strahls (Dietze et al. 2013).

Weitere Faktoren

Weiterhin existiert eine Einteilung in drei unterschiedliche Vorfußtypen. Es werden der ägyptische, griechische und quadratische Typ beschrieben (vgl. Abb. 1). Eine Reihe von Autoren zeigte Hinweise für eine vermehrte Prävalenz des HV bei der ägyptischen Fußform (Sandelin 1924; Boebel und Wolff 1960; Viladot 1973, Viladot 1982, Viladot 1993). Viladot nahm ebenfalls an, dass ein kürzeres MT-I im Vergleich zu MT-II die Entwicklung einer HV-Deformität begünstigen kann. Morton postulierte, dass bei einem kürzeren MT-I die Belastung primär über den zweiten und dritten Strahl getragen wird (Morton 1935). Dies führt zu Hyperkeratosen und Schmerzen im mittleren Vorfußbereich. Um dem entgegen zu wirken, wird der Vorfuß in Pronation gehalten und somit eine Valgisierung des Hallux begünstigt. Eine Studie von Coughlin und Jones zeigte, dass 71 % ihrer Patienten ein im Schnitt 2,4 mm längeres MT-I als MT-II besaßen (Coughlin und Jones 2007).

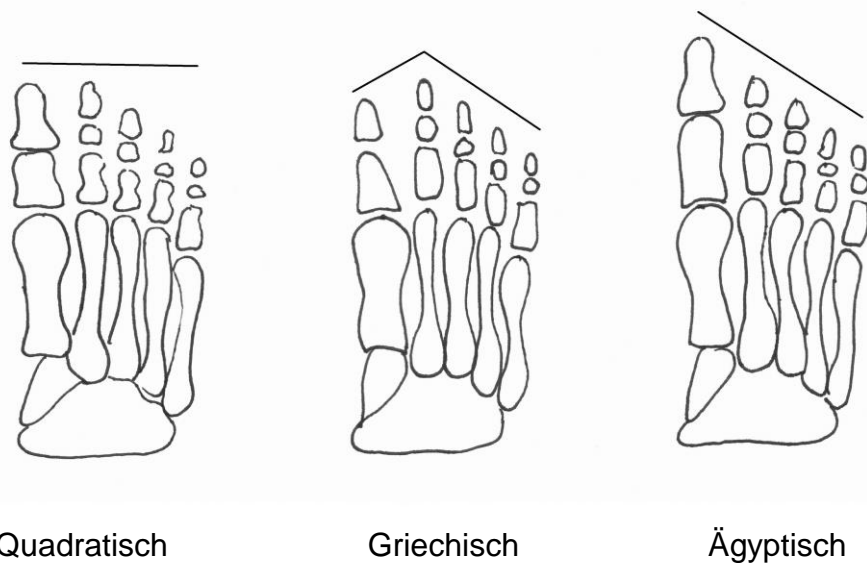


Abb. 1: Zehenmuster (Aus eigenem Archiv)

Nguyen et al. verdeutlichten bei ihrer Studie mit 600 Personen den Zusammenhang, dass ältere Männer mit einem erhöhten Body-Mass-Index (BMI) (< 30.0) im Vergleich zu Männern mit einem normalen BMI ein relatives Risiko (RR) von 1.9 (95 % CI: 1.0, 3.5) besitzen, einen HV auszubilden (Nguyen et al. 2010). Bei Frauen ist das Verhältnis genau umgekehrt. Je größer der BMI war, desto geringer das relative

Risiko (RR) die Erkrankung zu erleiden (RR= 0.7, 95 % CI: 0.5, 0.9). Er schließt daraus, dass es unterschiedliche ätiologische Mechanismen zwischen den Geschlechtern gibt.

Ein weiterer Faktor, der zur Entstehung des HV beitragen kann, ist eine generalisierte Bandschwäche (Wanivenhaus 2007). Steinberg et al. untersuchte eine Gruppe von 25 Frauen mit einem HV. Diese wiesen eine signifikant ($p=0.014$) höhere Beweglichkeit in allen Gelenken der unteren Extremität auf als eine Kontrollgruppe (Steinberg et al. 2013). Lindsey et al. publizierten jedoch, dass Morbus Marfan Patienten keine signifikant höhere Prävalenz eines HV aufzeigen als eine gesunde Kontrollgruppe (Lindsey et al. 1998).

1.1.1 Sekundärer Hallux Valgus

Ein sekundärer HV entsteht auf Grundlage von anderen Erkrankungen. Zu nennen sind chronische Polyarthritiden. Diese führen zu einer entzündlichen Gelenkzerstörung und damit zur Deformität. Weiterhin können neurologische Erkrankungen ursächlich sein. Dabei entsteht meist eine muskuläre Dysbalance, welche zur Deformität führt. Darunter zählen zum einen schlaffe oder spastische Lähmungsfüße und zum anderen sensorische Neuropathiesyndrome verschiedener Genese. Diese destabilisieren den ersten Strahl direkt durch Osteoarthropathien am Großzehengrundgelenk oder indirekt durch weiter proximal gelegene Schädigungen (Wülker 1997b, S. 3ff; Richter 2010).

Hinzu kommen posttraumatische Fehlstellungen. Darunter zählen fehlerheilte Brüche samt Pseudarthrosenbildung. Die Amputation der Kleinzehen, vor allem der zweiten Zehe, kann durch das Fehlen des lateralen Widerlagers die Deformität fördern (Steinböck 1993).

1.2 Pathologie

Am Hallux setzen verschiedenen Muskeln und Muskelgruppen an. Dies sind zum einen die langen und kurzen Beuger und Strecker und zum anderen der M. abductor hallucis sowie der M. adductor hallucis. Ist das empfindliche Gleichgewicht einmal gestört, kommt es zu einem Circulus vitiosus, welcher „in einer kontrakten und nicht mehr korrigierbaren Fehlstellung der Großzehe mündet“ (Wülker 1997b, S. 13ff).

Werden die Muskeln beim Gehen maximal kontrahiert, wie es in der Endphase des Abrollens geschieht, entsteht eine große in Richtung der Gelenkfläche des Metatarsaleköpfchens (MTK) summierte Kraft. Ist die Balance noch gegeben, durchfährt diese genau die Achse von Großzehe und MT-I. Wird nun das Gleichgewicht der Kräfte bzw. deren Richtung beeinflusst, durchläuft die Kraftresultierende nicht mehr den Mittelpunkt der Gelenkfläche. Es resultieren Biegekräfte, welche den ersten Strahl wie

einen Bogen spannen. Eine prädisponierte physiologische Schwachstelle stellt hier das MTP-I-Gelenk dar. Je größer die entstehende Deformität, desto weniger Kraft ist notwendig sie aufrecht zu erhalten und noch weiter zu verstärken (vgl. Abb. 2) (Wülker 1997b, S. 13ff).

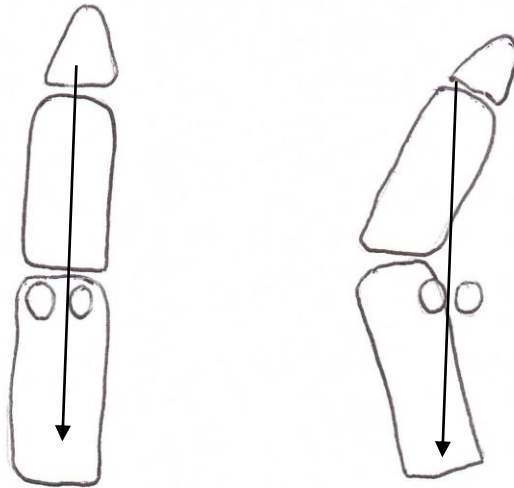


Abb. 2: Pathologische Kraftwirkung im MTP-Gelenk (Aus eigenem Archiv)

Zwei Faktoren wirken der Entstehung eines Metatarsus primus varus entgegen. Zum einen begrenzt die Gelenkfläche zwischen dem MT-I und dem Os cuneiforme I proximal die mediale Abweichung. Zum anderen verhindert distal die so genannte Sesambeinschlinge eine zu starke Varisierung. Sie setzt sich aus dem Ligamentum (Lig.) metatarsium transversum, dem Lig. Intersesamoidale und der Kapsel des MTP-Gelenks zusammen. Allerdings weist diese medial eine Schwachstelle auf, wodurch das Köpfchen des MT-I ausweichen kann. Dies imponiert als innerer Ballenwinkel und wird als Pseudoexostose definiert. Durch den an dieser Stelle erhöhten Druck gegen das umliegende Weichteilgewebe können mechanische Reizungen auftreten und reaktive Veränderung, wie z.B. eine schmerzhafte Bursitis, verursachen (Wülker 1997b, S. 13ff).

Röntgenologisch beeindruckt im Interdigitalraum das laterale Sesambein. Diese Tatsache liegt nicht an einer Lateralisierung desselben als solches, sondern an der oben genannten Subluxation des MTK. Gleichzeitig kommt es zu einer Gelenkflächeninkongruenz im MTP-I-Gelenk und einer fehlenden Artikulation der medialen Gelenkpartner. Schreitet die Deformität weiter voran, verändert sich stetig die Einflussnahme der Muskelkraft auf die Großzehe. Hierbei steht der M. abductor hallucis im Mittelpunkt. Sein ursprünglich medialer Ansatz ist an der Grundphalanx und bewegt sich nun weiter nach plantar (vgl. Abb. 3). Dadurch kann er seine abduzierende Funktion

nicht mehr aufrechterhalten und ändert seine Wirkung in eine Pronation. Zusätzlich ändern die langen und kurzen Beuger sowie Strecker ihre Zugrichtung in eine Adduktion und verstärken die HV-Deformität (Wülker 1997b, S. 13ff).

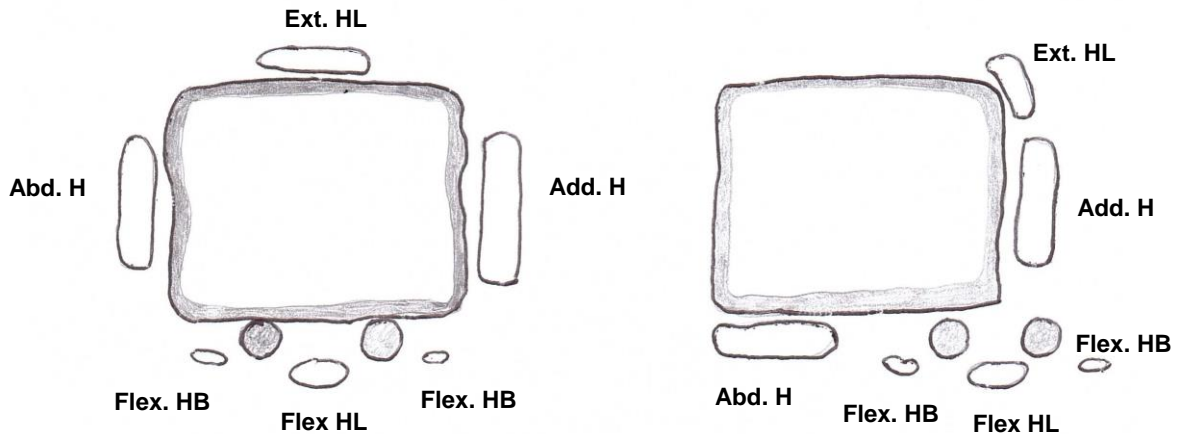


Abb.3: Muskel und Sehnenverlagerung bei der Hallux valgus Deformität; Ext. HL = M. Extensor hallucis longus, Add. H. = M. Adductor hallucis, Abd. H. = M. Abductor hallucis, LFHB = laterale Sehne des M. Flexor hallucis brevis, Flex. HL = Flexor hallucis longus, Flex. HB = Sehnen des M. flexor hallucis brevis (Aus eigenem Archiv)

Diese Faktoren haben zur Folge, dass die Großzehe sich beim physiologischen Gang nicht mehr abstoßen kann und die Belastung vom ersten Strahl nach lateral zu den Mittelfußköpfchen zwei bis vier wandert. Die Reaktion darauf ist eine Schwielenbildung unter den belasteten Anteilen des Vorfußes, nicht jedoch unter dem ersten MT. Dieser Vorgang wird als Transfermetatarsalgie bezeichnet. Zusätzlich werden die kleineren Zehen im Schuh immer weiter eingeeengt, sodass sich ein Druck zwischen ihnen aufbaut. Folglich weichen sie diesem nach dorsal und plantar aus und verbleiben in diesen Positionen. Nach einiger Zeit entstehen so kontrakte Hammer- und Krallenzehen (Wülker 1997b, S. 16).

Bei einer physiologischen Anatomie des Fußes beträgt der röntgenologisch gemessene Winkel zwischen den Achsen des MT I und dem Großzehengrundglied, genannt Hallux-vagus-Winkel (HVA), weniger als 15 Grad (Wülker 1997a). Eine Reihe von Autoren postuliert einen physiologischen Intermetatarsal-Winkel (IMA) mit acht bis neun Grad. Dieser liegt zwischen den Achsen der Ossa metatarsi I und II (Bascarević et al. 2011; Nguyen et al. 2010; Wülker 1997a).

Symptomatik des Hallux valgus

Der Schuhkonflikt ist das führende Symptom bei der HV-Deformität. Der charakteristische Schmerz liegt plantar, medial und dorsal des Großzehenballens und MTP-I-Gelenks. Durch die Deformität und schmerzbedingte Schonung des MTP-I-Gelenks wird die Belastung nach lateral transferiert. Daraus resultiert eine Transfermetatarsalgie unter den lateralen Mittelfußköpfchen. Weiterhin kann eine mit dem HV vergesellschaftete Arthrose im MTP-I-Gelenk (Hallux Rigidus) Schmerzen und Bewegungseinschränkungen verursachen. Auffällig ist ebenfalls eine schmerzhafte Bursitis am medialen Ballenwinkel. Im weiteren Verlauf und bei zunehmender Deformität entwickeln sich durch die Verdrängung der Großzehe sekundär Kleinzehendeformitäten, welche zu der Problematik des Schuhkonflikts beitragen (Wülker 1997b, S. 13ff; Dohle 2012b, S. 12ff).

1.3 Konservative Therapie des Hallux valgus

Aktuell existiert keine evidenzbasierte wirksame und kurative konservative Therapie. Sie richtet sich primär auf eine symptomatische Behandlung der Beschwerden und Begleiterscheinungen aus. Deshalb ist es wichtig bei ersten Zeichen der Erkrankung präventive Maßnahmen, wie z.B. die erwähnte richtige Schuhform mit weichem Oberleder und großer Zehenbox, zu ergreifen (Torkki et al. 2001; Easley und Trnka 2007; Richter 2010; Wülker und Mittag 2012).

Payr merkte bereits 1894 an: „Die Zahl der orthopädischen Hilfsmittel, die gegen das Uebel empfohlen worden sind, ist gross.“, und stellte folgend auch fest: „Trotz all dieser orthopädischen Maßnahmen gelingt es nur sehr selten, das Leiden wirklich zu beheben.“ Jedoch kann eine nicht operative Therapie bei noch wachsenden Menschen die Progredienz aufhalten und verlangsamen (Groiso 1992).

Redressionsverbände und Orthesen sind mögliche Optionen, der Lateralisierung des Hallux entgegen zu wirken. Ihr Ziel ist sowohl die Unterstützung und Stabilisierung der Abduktion als auch die Supination der Großzehe. Dies ist nur möglich, wenn die Hilfsmittel getragen werden. Folglich ist eine optimale Patienten-Compliance Voraussetzung für eine erfolgreiche Therapie, da sie von dem Patienten selbstständig angelegt werden muss. Jedoch wird der Patient so in das Therapiekonzept eingebunden und schürt Selbstverantwortung. Vergleichsstudien, welche die Wirksamkeit belegen, sind jedoch nicht vorhanden. Begleiterscheinungen wie Transfermetatarsalgie werden mit nieren- oder herzförmigen entlastenden Maßeinlagen therapiert um eine gleichmäßige Druckverteilung durch die Vorfußweichbettung retrokapital unter den Mittelfußknochen zu erreichen. Wichtig ist, dass diese keinesfalls bis unter die

randständigen Strahlen reichen um den Spreizfuß nicht weiter zu verstärken. Druckbeschwerden am MT-I-Köpfchen wird mit einer Spreizfußbandage oder Ringpolsterung der Pseudoexostose entgegengewirkt. Allerdings kann die Bandage aufgrund der fehlenden Redressierbarkeit nicht bei einem starren Metatarsus primus varus angewendet werden. Begleitsymptome wie Druckbeschwerden zwischen den Kleinzehen oder Hammer- und Krallenzehen können mit konfektionierten Zwischenzehenpolstern und Zehenrichtern behandelt werden. Allerdings finden diese aufgrund des geringen Erfolgs nur wenig Anklang (Wülker 1997b, S. 33ff; Stinus und Weber 2005; Easley und Trnka 2007; Richter 2010).

1.4 Operative Therapie des Hallux valgus

Die Gründe für eine operative Therapie sind vielfältig. Schmerzen, ein erhöhter Leidensdruck sowie eine eingeschränkte Lebensqualität sind ein Aspekt. Dazu kommen vielfältige Schuhprobleme (Schuhkonflikt), rezidivierende Bursitiden, Druckgeschwüre und Ulcera über der Pseudoexostose und damit zusammenhängende Funktionseinschränkungen des Fußes. Eine progressive Deformität und drohende bzw. vorhandene Kleinzehendeformitäten stellen ebenfalls eine wichtige Indikation dar (Richter 2010). Als wichtigste Kontraindikation ist eine arterielle Verschlusskrankheit zu sehen (Williams 2006). Eine relative Kontraindikation stellt ein insulinpflichtiger Diabetes mellitus mit peripherer Polyneuropathie dar (Thomas 2012). Allen operativen Therapieverfahren ist die Achskorrektur des ersten Strahls gemein. Dabei spielt die Wiederherstellung der Gelenkkongruenz des MTP eine zentrale Rolle. Nach der Behandlung sollte eine nahezu physiologische Abrollfunktion der Großzehe möglich sein (Wülker 1997b, S. 83ff).

In der Literatur sind weit über 100 verschiedene Operationen beschrieben (Wülker und Mittag 2012). Man unterscheidet gelenkerhaltende Verfahren wie Korrekturosteotomien und Weichteileingriffe von gelenkresezierenden. Darunter zählen Resektionsinterpositionarthroplastiken und Arthrodesen (Richter 2010). In den S1 Leitlinien von 2010 ist folgender Algorithmus (Abb. 4) zur Therapiewahl empfohlen. Danach werden die HV-Deformitäten in drei Gruppen eingeteilt. Entscheidend ist nach dieser Einteilung der HVA und der IMA. Es wird ein milder, moderater und schwerer HV unterschieden. Dabei ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Ausprägungen nicht derselben Therapie bedürfen (Abb. 4) (Richter 2010).

Einige Autoren postulieren, dass schwerere Fehlstellungen nur mit proximalen Osteotomien, wie z.B. die TMT-I-Korrekturarthrodese, behandelt werden können. Zusätzlich ist bei moderaten und schweren Verlaufsformen die Durchführung einer

lateralen Weichteilprozedur zu empfehlen (s.u.) (Mann und Pfeffinger 1991; Trnka et al. 1997; Richter 2010).

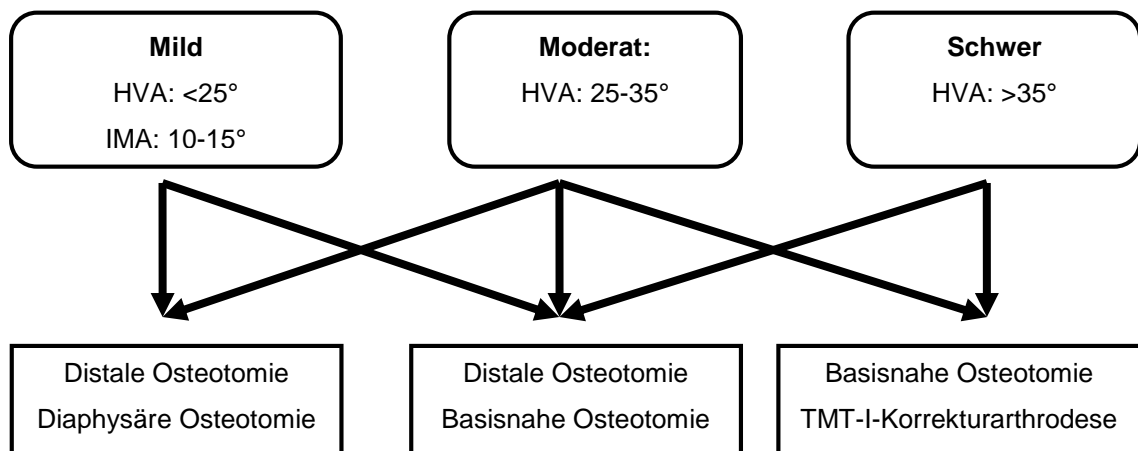


Abb. 4: Algorithmus zur Therapie des Hallux Valgus (Quelle: Richter, Aktualisierte Leitlinien Fuß und Sprunggelenk, 2010)

1.4.1 TMT-I-Korrekturarthrodese

Bereits 1931 beschrieb Lapidus eine TMT-I-Arthrodese zur Korrektur eines Metatarsus varus primus bei einem HV (Lapidus 1960). Aufgrund der Beobachtung des Autors, dass die HV-Deformität häufig mit einem Metatarsus primus varus vergesellschaftet ist, hielt er eine Revalgisierung des MT-I für unabdingbar. Jedoch war er nicht der erste Operateur, der diese Technik angewandt hat. In der deutschen Literatur wurde diese erstmals von Albrecht beschrieben (Albrecht 1911). Laut aktuellen Leitlinien ist es damals wie heute ein weitverbreitetes und anerkanntes Verfahren zur Korrektur von mittleren und schweren HV Formen mit einem IMA von über 16° (Richter 2010). Zwar wird bei Lapidus keine Hypermobilität des TMT-I-Gelenks als Ursache der Deformität beschrieben, dies spielt heutzutage jedoch trotz kontroverser Diskussionen in der Fachliteratur eine zentrale Rolle und ist mit dem Verfahren sehr gut therapierbar (Neylon et al. 2001; Coetzee und Wickum 2004; Cottom 2012; Gutteck et al. 2013).

In der klassischen Operationstechnik nach Lapidus (siehe Abb. 5), welche heute nur noch selten Anwendung findet, wird eine Arthrodese des TMT-I-Gelenks zusammen mit einer Verschraubung der Basen der MT-I und II bzw. dem interkuneiformen Gelenk durchgeführt (Lapidus 1960).

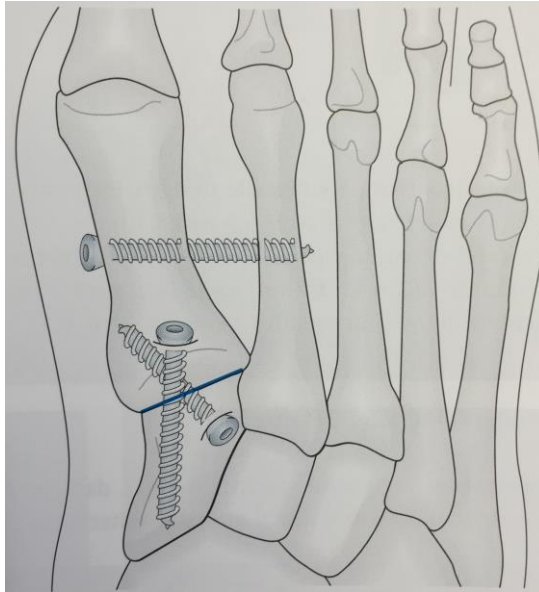


Abb. 5: Schematische Darstellung der klassischen Lapidus-Arthrodese mit gekreuzten interfragmentären Kompressionsschrauben und einer Stellschraube (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzteverlags aus Jerosch, Heisel: Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk, 2008)



Abb. 6 a, b: Modifizierte Lapidus-Arthrodese mit plantarer Plattenosteosynthese und interfragmentärer Schraube, Röntgenbild im Stehen, dorsoplantarer und lateraler Strahlengang

Das in der vorliegenden Arbeit angewendete modifizierte Lapidus-Verfahren beinhaltet lediglich eine Arthrodesse des TMT-I-Gelenks. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten der Osteosynthese. Es wurden Verfahren mit zwei oder drei gekreuzten Schrauben beschrieben (Coughlin und Grimes 2005; Trnka und Hofstätter 2005). Andere Autoren veröffentlichten Studien über Methoden mit einer Schraube, kombiniert mit einer dorsomedialen oder medialen winkelstabilen Platte (Mote et al. 2009; Cottom 2012). Im Vergleich zu distalen Osteosyntheseverfahren ist die TMT-I-Arthrodesse mit den erwähnten Osteosynthesetechniken mit einer Pseudarthrose-Rate von 6 - 12 % behaftet (Patel et al. 2004; Fuhrmann 2005; Saxena et al. 2009; Menke et al. 2011). 2009 beschrieben Walther et al. erstmals eine Osteosynthese mit einem plantaren winkelstabilen Implantat und zeigten sehr gute Ergebnisse (Pseudarthrose-Rate 0 %) (siehe Abb. 6 a und b) (Walther et al. 2011). Gutteck et al. sowie Klos et al. bestätigten diese positiven Ergebnisse (Gutteck et al. 2013; Klos et al. 2013).

1.4.2 Laterale Weichteilprozedur und Cheilektomie

Die laterale Weichteilprozedur hat als Ziel, das Gleichgewicht zwischen Kapsel, Bändern und Muskeln um das erste MTP-Gelenk wieder herzustellen. Grundlage hierfür stellt die Pathologie des Großzehengrundgelenks mit der Verschiebung des Kräftegleichgewichts dar (s.o.). Es sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Umgestaltung der Knochenstrukturen zum Teil die Folge der Veränderung der Weichteile ist. Somit kann ohne einen solchen Eingriff keine vollständige und nachhaltige Korrektur möglich sein (Schneider 2013). Es sind mehrere unterschiedliche Techniken zur Durchführung der distalen Weichteilprozedur in der Literatur beschrieben (Schneider und Knahr 2002, Trnka und Hofstaetter 2005, Schneider 2012; Augoyard et al. 2013). Den meisten ist die Durchtrennung des Lig. metatarsosessamoidale gemeinsam. Aufgrund dessen, dass dieses Band ein Teil der lateralen Gelenkkapsel bildet, kann eine Inzision der Kapsel notwendig sein. Dies stellt eine Gratwanderung zwischen der erforderlichen vollständigen Durchtrennung und der überflüssigen Verletzung der plantaren sowie proximalen Anteile der Kapsel dar, welches eine vaskuläre Unterversorgung des Metatarsalköpfchens zur Folge hätte (Jones et al. 1995). Die übrigen regionalen Bänder können belassen werden, da ihre Durchtrennung keinen gewinnbringenden Effekt auf die Gelenksituation zur Folge hat (Schneider 2012, Schneider 2013; Augoyard et al. 2013).

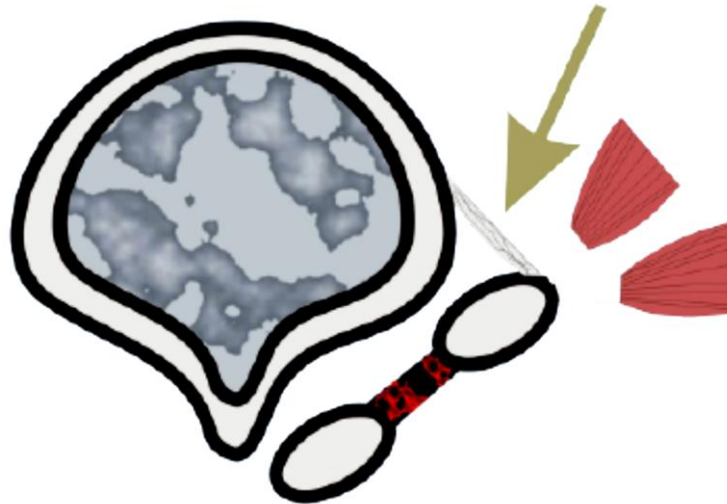


Abb. 7: Schema Ligamentum metatarsosessoidale laterale (Quelle: Trnka und Hofstaetter, Die modifizierte Lapidus-Arthrodesse, 2005)

Liegt aufgrund der HV-Deformität ein Hallux Rigidus vor, kann diese zu schmerzhaften Bewegungseinschränkungen, vor allem in der Dorsalflexion führen und somit eine orthograde Abrollbewegung unmöglich machen. Zeichen hierfür sind eine Gelenkspaltverschmälerung und Ausbildungen von knöchernen Exostosen (Osteophyten) (Wülker 1997b, S. 123). Um die Beweglichkeit in Dorsalflexion zu verbessern, werden die Osteophyten im Rahmen einer sogenannten Cheilektomie an der dorsalen Begrenzung des MTK-I abgetragen und somit das knöcherne Impingement der Grundphalanx reduziert (Thomsen 2012). Es muss im Anschluss möglich sein, die Großzehe manuell 60-70° dorsal zu flektieren. Der Eingriff ist häufig kombiniert mit dem lateralen Release der Weichteile (Wingenfeld et al. 2008; Thomsen 2012). Weiterhin kann eine Dekompression des MTP-I-Gelenks z.B. durch eine verkürzende distale Korrekturosteotomie bzw. die mit der Lapidus-Arthrodesse assoziierter Verkürzung des MT-I erreicht werden (Richter 2010; Shariff und Myerson 2015).

1.4.3 Akin-Osteotomie

Eine HV-Deformität ist häufig mit einem Hallux-valgus-interphalangeus (HVI) vergesellschaftet. Es wird von einem HVI gesprochen, wenn der proximale Gelenkflächenwinkel der ersten Grundphalanx mehr als 10° beträgt (Arnold 2008). Das Ziel ist es, den besagten pathologischen Winkel durch die Entnahme eines medialbasigen trapezförmigen Keils aus der Grundphalanx unter Erhalt des lateralen Periosts zu verkleinern (siehe Abb. 8). Die Osteotomie wird bspw. mit einer kanülierten versenkten Doppelgewindeschraube fixiert (Arnold 2008).

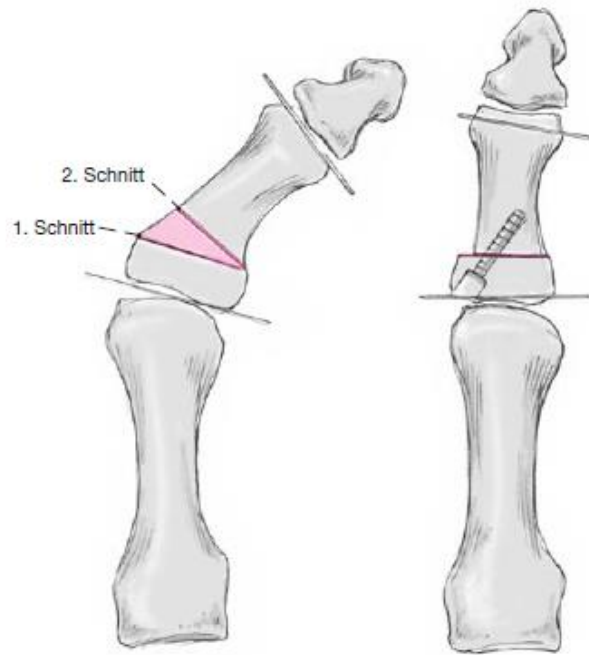


Abb. 8: Akin-Osteotomie; Operationsprinzip und Schnittführung zur Keilentnahme
(Quelle: Arnold, Die Korrektur des Hallux valgus interphalangeus durch Closing-Wedge-Osteotomie nach Akin, 2008)

2 Zielsetzung der Arbeit

Im Rahmen dieser prospektiven Studie sollen mittelfristige Ergebnisse nach einer TMT-I-Korrekturarthrodese zur Behandlung eines mittleren bis schweren Hallux valgus mit Hilfe von klinischen, radiologischen und pedobarografischen Daten analysiert werden.

Die Arbeit hat folgende Fragestellungen:

1. Welchen Einfluss hat die modifizierte Lapidus-Arthrodese auf den HV-Winkel, den IMT-Winkel und die Elevation des MT-I?
2. Wie unterscheidet sich der AOFAS Vorfuß Score prä- und postoperativ?
3. Welche Rolle spielt die postoperative Einstellung des MT-I in der Sagittalebene?
4. Korrelieren die radiologischen Winkelmaße mit dem AOFAS Vorfuß Score?
5. Welchen Einfluss hat die TMT-1-Arthrodese auf das klinische Outcome bei Patienten mit Metatarsalgie?
6. Welche Veränderungen stellen sich in der plantaren Druckverteilung der Patienten nach der Operation dar?
7. Welchen Einfluss hat die Korrektur des MT-I in der Sagittalebene auf die pedobarografischen Ergebnisse?
8. Korrelieren die Pedobarografieparameter mit den radiologischen Winkelmaßen und dem AOFAS Vorfuß Score?

3 Material und Methoden

Am Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie (DOUW) des Universitätsklinikums Halle wurden von Januar 2012 bis Dezember 2013 insgesamt 126 Patienten wegen einer HV-Deformität operativ behandelt. Davon erhielten 54 Patienten eine TMT-I-Korrekturarthrodese. Nach Berücksichtigung der unten genannten Ein- und Ausschlusskriterien wurden 28 Patienten (30 Füße) in die vorliegende prospektive Studie eingeschlossen.

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien für diese Arbeit waren die Indikation zu einer modifizierten Lapidusarthrodese, das Einverständnis des Patienten zur Teilnahme an der Studie, gute gesundheitliche Verfassung, entweder ohne oder mit einer gut eingestellten kardiologischen, pulmologischen oder hämatologischen Erkrankung. Zum Einschluss in diese Studie spielten Alter, Geschlecht, BMI oder Größe keine Rolle.

Ausschlusskriterien waren eine vorangegangene Operation am Fuß oder Sprunggelenk oder eine Operation an der unteren Extremität, die nicht länger als 12 Monate zurücklag. Weitere Ausschlusskriterien waren Polyneuropathie, gleichzeitig vorliegende Rückfußdeformitäten, Arthrose des oberen oder unteren Sprunggelenks sowie des MTP-I-Gelenks, Achillessehnenverkürzung, rheumatoide Arthritis, Deformität aufgrund einer neurologischen Grunderkrankung oder in Folge von Lähmungszuständen und fehlendes Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.

3.2 Unerwünschte Ereignisse

Als unerwünschte postoperative Ereignisse wurden eine persistierende Elevation des MT-I sowie eine Transfermetatarsalgie, Wundheilungsstörungen, Materialkonflikte und Pseudarthrosen definiert.

3.3 Untersuchungsverfahren

3.3.1 Anamnese und Klinische Untersuchung

Es wurde eine gründliche Anamnese erhoben. Diese beinhaltete wichtige Fragen über explizite Beschwerden der Patienten. Schuhkonflikte, Druckstellen über der Pseudoexostose und Belastungsschmerzen nach längerem Stehen und Gehen sind wichtige Indikatoren für einen HV. Darüber hinaus musste gezielt nach einer Transfermetatarsalgie gefragt werden (Richter 2010).

Die Patienten wurden präoperativ sowie postoperativ nach drei, sechs und zwölf Monaten untersucht. In der präoperativen körperlichen Untersuchung wurde Wert auf

folgende Punkte gelegt: Zu Beginn wurde inspektorisch festgestellt, ob ein plantigrader Stand oder z.B. eine Rückfußdeformität vorliegt. Dazu wurden das Fußgewölbe und die Rückfußstellung beurteilt. Anschließend wurden Bewegungseinschränkungen im oberen und unteren Sprunggelenk ausgeschlossen (Dohle 2012b). Weiterhin wurde die Mobilität im MTP-I-Gelenk untersucht. Bei vorhandener Arthrose konnte diese schmerzhaft eingeschränkt sein. Zusätzlich können Krepitationen auftreten (Wülker und Mittag 2012). Ebenso musste geklärt werden, ob weitere Vorfußdeformitäten wie z.B. Krallenzehen bestanden. Dabei war die Beurteilung der Flexibilität oder Rigidität wichtig. Dies wurde mit Hilfe des so genannten Pushup-Tests kontrolliert. Bei der Untersuchung wurde zusätzlich eine bestehende Transfermetatarsalgie analysiert und Hyperkeratosen dokumentiert. Schließlich galt es, die Mobilität des TMT-I-Gelenks indirekt anhand der Mobilität des MFK zu prüfen. Dazu befand sich das obere Sprunggelenk in Neutralstellung und der Untersucher fixierte mit einer Hand den lateralen Vorfuß und das MFK-II. Das MFK-I wurde mit der anderen Hand nach dorsal und plantar bewegt. Zehn Millimeter galten als noch physiologisch. Darüber hinaus wurde von einer Instabilität des TMT-I-Gelenks gesprochen (siehe Abb. 9) (Dohle 2012a). Abschließend wurde ein neurologischer sowie vaskulärer Status der unteren Extremität erhoben.



Abb. 9: Untersuchung der Instabilität des TMT I Gelenkes mit fixiertem MFK II und Flexion nach dorsal und plantar des MFK I (Aus eigenem Archiv).

In den jeweiligen postoperativen Untersuchungen wurde der erste Strahl auf folgende Gesichtspunkte hin untersucht: Achsenstellung im Stand, Beurteilung der Wundverhältnisse sowie Hinweise für einen Materialkonflikt. Besonders wurde auf klinische Hinweise für das Vorliegen einer Pseudarthrose geachtet. Dazu zählen persistierende Schmerzen bei Bewegung oder Belastung über einen Zeitraum von sechs Monaten (Rush et al. 2009).

3.3.2 AOFAS Score

Der AOFAS Score (Kitaoka et al. 1994) wurde prä- und zwölf Monate postoperativ von ein und demselben Untersucher erhoben, welcher nicht der Operateur war.

Kitaoka entwickelte 1994 eine Skala zur Beurteilung und Erhebung des klinischen Status des Vorfußes. Es wurde Wert darauf gelegt, dass keine Hilfsmittel benötigt werden um den Score zu bestimmen. Subjektive und objektive Faktoren wurden in numerische Skalen kodiert, sodass Funktion, Achsenstellung und Schmerz beschreibbar sind. Von den acht Fragen des Scores sind die ersten drei subjektive Patientenfragen, welche von den Probanden selbst beantwortet werden. Die nachfolgenden fünf werden als Arztfragen bezeichnet und erfordern entsprechende Vorkenntnisse.

Insgesamt sind maximal 100 Punkte zu erreichen. Sie setzen sich aus 40 Punkten für Schmerzlosigkeit, 15 Punkten für eine korrekte Achsenstellung und 45 Punkten für uneingeschränkte Funktionalität zusammen. Letztere wird nochmals untergliedert: Aktivitätseinschränkungen bzw. Benötigen von Hilfsmittel wird genauso wie die Beweglichkeit des MTP-I-Gelenks mit 10 Punkten gewichtet. Die Art des getragenen Schuhwerkes, die Interphalangeal-Beweglichkeit, die Stabilität im MTP-I-Gelenk sowie die Callus-Bildung werden mit jeweils 5 Punkten bewertet. Die Höchstpunktzahl ist somit nur möglich, wenn der Patient keinen Schmerz empfindet, eine volle Beweglichkeit des MTP-I- und IP-Gelenkes hat, dieselben keine Instabilität aufweisen, der erste Vorfußstrahl eine korrekte Stellung innehat und keine Einschränkungen in Aktivität und Schuhwahl vorliegen (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Tabellarischer Überblick über die Punkteverteilung beim AOFAS Forefoot Score (Kitaoka et al. 1994; Richter 2011)

| | |
|---|----|
| Schmerz (40 Pkt.) | |
| 1. kein | 40 |
| 2. leicht, gelegentlich | 30 |
| 3. mittelmäßig, täglich | 20 |
| 4. heftig, fast immer | 0 |
| Funktion (45 Pkt.) | |
| Einschränkung der Aktivität | |
| 1. keine Einschr., keine Stütze/Hilfe | 10 |
| 2. keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitaktivitäten, keine Hilfen | 7 |
| 3. Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitaktivitäten, Stock | 4 |
| 4. starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl | 0 |
| Schuhwerk | |
| 1. modische Konvektionsschuhe ohne Einlagen | 5 |
| 2. Konvektionsschuhe mit Einlagen | 3 |
| 3. orthopädische Schuhe | 0 |
| MTP-Beweglichkeit | |
| 1. normal oder leichte Einschränkungen (75%-100% von normal) | 10 |
| 2. mäßige Einschränkungen (30% - 74%) | 5 |
| 3. massive Einschränkungen (weniger als 30%) | 0 |
| IP-Bewegung | |
| 1. keine Einschränkungen | 5 |
| 2. stark eingeschränkt | 0 |
| MTP-IP Stabilität | |
| 1. stabil | 5 |
| 2. eindeutig instabil | 0 |
| Schwiele am Hallux MTP-IP-Gelenk | |
| 1. keine oder symptomlos | 5 |
| 2. mit Symptomen | 0 |
| Achsenstellung (15 Pkt.) | |
| 1. gut, Zehen achsengerecht | 15 |
| 2. mittelmäßig, gewisse Achsenabweichung | 8 |
| 3. schlecht, Achsenfehlstellung | 0 |

3.3.3 Radiologische Messungen

Die Grundlage der radiologischen Untersuchungen waren standardisierte Aufnahmen im dorsoplantaren und lateralen Strahlengang im Stehen. Die radiologische Untersuchung des Fußes fand präoperativ, vor Entlassung, sechs Wochen, drei Monate, sechs Monate sowie ein Jahr postoperativ statt. Die Speicherung und Verwaltung der Bilddaten sowie ihre Analyse erfolgte mit Hilfe des „Picture Archiving and Communication System“ (PACS).



Abb. 10: Röntgenaufnahmen des rechten Fußes im dorsoplantaren Strahlengang im Stehen mit eingezeichneten HVA zwischen a und b sowie IMA zwischen b und c

Es wurden der HVA, der IMA und der Elevationswinkel des MT-I gemessen (ELE). Der HVA misst den Winkel zwischen den geometrischen Achsen des Grundglieds und des MT-I. Der IMA zeichnet den Winkel zwischen den geometrischen Achsen des MT-I und II (Lee et al. 2012; Gutteck et al. 2013). Röntgenbilder im dorsoplantaren Strahlengang waren hierfür notwendig (vgl. Abb. 10). Der ELE oder auch seitlicher Intermetatarsalwinkel des ersten Strahls wurde in der lateralen Aufnahme bestimmt. Dazu wird die Abweichung der Achse des MT-I im Vergleich zur Achse des MT-II gemessen. Dafür werden Linien an der dorsalen Kortikalis zwischen Basis und Köpfchen der Metatarsale verwendet um die Schwierigkeit der Messung durch die Überlagerung

im Röntgenbild bestmöglich auszuschalten (Schwarz 2004). Das Ergebnis des Winkels kann numerisch negativ als auch positiv ausfallen. Es ist abhängig davon, ob das MT I mehr oder weniger plantar flektiert ist als das MT II. In der Abb. 11 sieht man einen positiven Elevationswinkel. So kann postoperativ kontrolliert werden, ob und wie viel Korrektur der Elevation des ersten Metatarsale erreicht worden ist.



Abb. 11: Röntgenaufnahmen des rechten Fußes im lateralen Strahlengang im Stehen mit eingezeichneten Elevationswinkel zwischen Metatarsale I (a) und Metatarsale II (b)

3.3.4 Pedobarografie

Um die prä- und postoperative Druckverteilung des Fußes objektivieren zu können, wurde vor und ein Jahr nach der Operation eine pedobarografische Untersuchung vorgenommen.

Diese erlaubt die zeitliche und räumliche Kraftverteilung während des Gangzyklus zu messen. Dadurch ist es möglich während des Gehens vorherrschende mittlere als auch maximale Kräfte und Drücke im Vor-, Mittel- und Rückfußbereich aufzuzeichnen. Folglich gewinnt man wichtige Erkenntnisse im Bezug auf die Belastungen einzelner Strukturen vor und nach der Operation und ist in der Lage funktionelle Auswirkungen zu objektivieren.

Messgerät

Die Messung der pedografischen Daten erfolgte mit Hilfe der emed®-x400 Sensorplatte (Novel GmbH, München). Sie ist mit 6080 Sensoren mit einer Auflösung von vier Sensoren pro Zentimeter und einer Abtastgeschwindigkeit von 100 Hz ausgestattet. Die Genauigkeit wird vom Hersteller mit plus minus fünf Prozent angegeben. Der Sensor hat eine Fläche von 475 mm x 320 mm und eine gesamte Höhe von 15,5 mm. Die Sensorplatte war in eine Gangbahn eingearbeitet und bildete mit ihr eine Ebene. Die Gangbahn hatte eine Breite von 70 cm, sodass genügend Abstand zum Rand gegeben war und der Patient sich nicht durch Balanceschwierigkeiten unsicher gefühlt hat. Die Messapparatur lag in der Mitte der Strecke und die Gesamtlänge betrug neun Meter. Dadurch war die An- und Auslaufphase groß genug, um die Aufnahme im freien Gang durchzuführen und Verzögerungs- und Beschleunigungseffekte auszublenden.

Messablauf

Die Patienten positionierten sich barfuß am Rande der Gangbahn. Sie waren dazu angehalten, nicht auf den Boden bzw. die Messplatte zu schauen, um bewusste als auch unbewusste Trittlängenverfälschungen zu vermeiden. Zu diesem Zweck wurde ein Bild auf Augenhöhe am Ende der Strecke angebracht, welches fixiert werden sollte. Der Monitor war für den Untersuchten nicht einsehbar. Nach einigen individuellen Probedurchgängen konnte die genaue Startposition ermittelt werden, um mit dem vollen Fuß und einem möglichst natürlichen Gang auf die Sensorplatte zu treten. Die Ganggeschwindigkeit lag im Ermessen des Patienten selbst. Somit kann man die nahezu reale Alltagssituation nachstellen und verhindert vermeidbare Messfehler. Anschließend erfolgten im Schnitt zehn Messungen mit jedem Fuß des Probanden. Kam es vor, dass bei einer Messung kein vollständiger Abdruck produziert werden konnte oder die oben genannten Kriterien nicht erfüllt wurden, wurde der Durchlauf gestrichen und wiederholt.

Parameter und Fußzonen

Die Datenaufnahme und Verarbeitung erfolgte mit der zum Sensor dazugehörigen Software emed® art science® der Firma Novel GmbH.

Mit Hilfe einer anatomisch korrekt vorgegebenen Maske wurde jeder Fußabdruck gleichermaßen unterteilt. Die Gliederung erfolgte in insgesamt sieben Areale: Die Ferse (Heel=HL) bildete den Rückfuß. Der Mittelfuß (Midfoot=ML) stellte die Verbindung zum Vorfuß dar, welcher in drei Teile untergliedert wurde. Der mediale Vorfuß (Medial Forefoot=MFF) stimmte mit dem MT-I und der zentrale mit dem MT-II (Central

Forefoot=CFF) überein. Der laterale Teil entsprach den MT-III bis V (Lateral Forefoot=LFF). Die Zehen wurden nur in zwei Zonen untergliedert: Die Großzehe (Great Toe=GT) und die Zehen zwei bis fünf (Toe 2-5=T2-5).

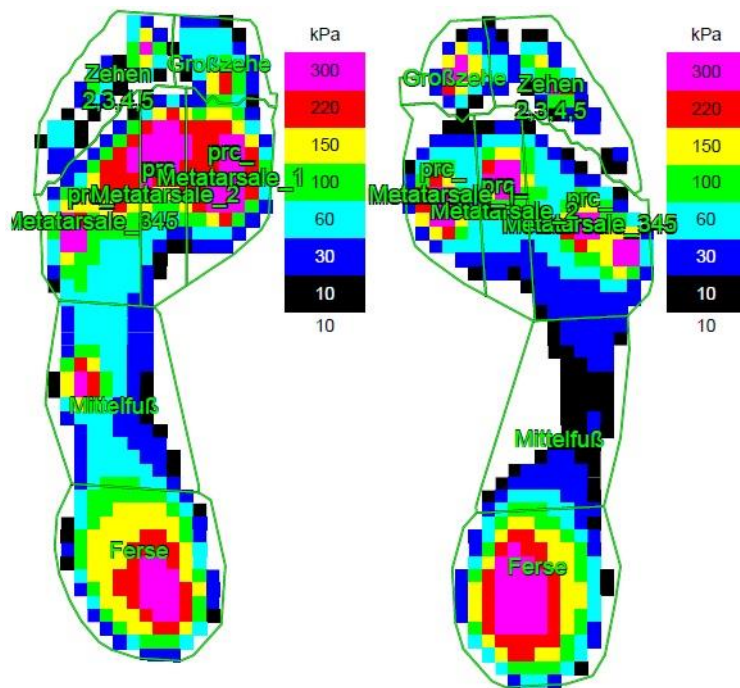


Abb. 12: Maske zur Auswertung der Pedobarografischen Daten

Gemessen wurden folgende Parameter: Das Kraft-Zeit-Integral mit der Einheit %BW*s, der Spitzendruck in Kilopascal (kPa) und das Kraftmaximum in %BW in jeder einzelnen Fußzone und über der gesamten Fläche. Durch das Verhältnis der Kräfte zur eigenen Masse können so die Ergebnisse zwischen verschiedenen Probanden und Gruppen verglichen werden.

3.4 Operation

3.4.1 Operationstechnik

Im Rahmen der HV-Korrektur erfolgte standardgemäß zunächst ein distaler Weichteileingriff. Der Schnitt erfolgte dorsal über dem Interdigitalraum I-II. Mit Hilfe eines Laminaspreizers wurde die laterale Kapsel des Metatarsophalangeal-Gelenks und der M. Adductor hallucis dargestellt. Nach der Identifikation das Lig. metatarsosessamoidale laterale wurde es dorsal des fibularen Sesambeins durchtrennt. Im gleichen Zug wurde die laterale Kapsel quer gestichelt. Zur Sicherung der Mobilität war eine 20°-Varus-Stellung der Großzehe notwendig (Trnka und Hofstätter 2005).

Der zweite Zugang befand sich direkt medial über dem MTP-I-Gelenk für die Cheilektomie und ggf. eine Akin-Osteotomie. Durch eine Längs-Inzision wurde die

mediale Kapsel eröffnet und die Pseudexostose dargestellt und sparsam reseziert (Trnka und Hofstätter 2005).

Anschließend erfolgte ein medialer Zugang zum TMT-I-Gelenk. Die Sehne des M. tibialis anterior wurde in ihrem distalen Verlauf dargestellt und geschont. Infolgedessen wurde das TMT-I-Gelenk dargestellt und eröffnet. Die Gelenkflächen wurden sparsam in Form eines lateralbasigen Keils mit einer oszillierenden Säge reseziert und multipel aufgebohrt.

Bei der Reposition der Arthrodesese galt es, die Knochen plantar bündig aneinander zu stellen. Auf eine genügende Plantarfexion des MT-I war zu achten. Nach einer erneuten Bildwandlerkontrolle wurde eine 4-mm-Zugschraube vom lateralen Aspekt der Metatarsale-I-Basis in Richtung Os cuneiforme mediale eingebracht. Anschließend wurde die plantare Lapidus Platte (Darco®, Wright®, Ratingen) positioniert. Es wurde zunächst die distale, nicht winkelstabile Schraube, welche die Arthrodesese übergreift und bis zur dorsalen Kortikalis des Os cuneiforme mediale reicht, eingebracht. Darauf folgend wurde die zweite nicht winkelstabile Schraube in das Os cuneiforme parallel zur Arthrodesefläche gesetzt. Danach wurden die winkelstabilen Schrauben in die äußeren Schraubenlöcher der Platte platziert (Walther et al. 2011) (siehe Abb. 6 S.11).

Schlussendlich erfolgte eine Stellungskontrolle des ersten Strahls. War eine persistierende valgische Einstellung der Großzehe bei einem bestehenden HVI vorhanden, folgte eine Akin-Osteotomie. Daraufhin wurde die mediale Gelenkkapsel nach dem Entfernen der überschüssigen Kapselanteile am Großzehengrundgelenk verschlossen (Trnka und Hofstätter 2005).

Patienten mit einer Krallenzehendeformität, sub- oder luxierten lateralen MTP-Gelenk oder einer Metatarsalgie bei einer vorbestehenden Überlänge der lateralen Metatarsalia erhielten zusätzlich eine Osteotomie nach Weil bzw. eine Krallenzehenkorrektur (siehe Tab. 3).

3.4.2 Mobilisation

Die Patienten wurden für sechs Wochen postoperativ im Arthrodeseschuh (Vacopedes®) mit gestatteter Vollbelastung mobilisiert. Erfahrungsgemäß haben die Patienten regelhaft nach ca. sieben Tagen postoperativ auf die Unterarmgehstützen verzichtet.

3.5 Statistische Auswertung

Die radiologisch gemessenen Winkel wurden in Dokumentationsprotokollen erfasst und in das Windows-Programm Microsoft Excel 2013 übertragen. Des Weiteren wurden die pedobarografischen Daten aus der emed®-Software exportiert und anschließend mit Hilfe des Windows-Programm Microsoft Excel 2013 analysiert.

Das arithmetische Mittel und die Standardabweichung wurden berechnet. Zur Prüfung der Normalverteilung bei unabhängigen Stichproben kam der Shapiro-Wilk Test zum Einsatz. Die Varianzgleichheit wurde mit dem Levene-Test sichergestellt. Im Anschluss erfolgte die Berechnung signifikanter Unterschiede mit Hilfe des t-Tests bei unabhängigen Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U Tests. Bei abhängigen Stichproben wurde die Normalverteilung mit Hilfe einer positiven Korrelation der Messwertreihen überprüft. War diese gegeben, folgte der t-Test bei abhängigen Stichproben. Andernfalls wurde der Wilcoxon Test eingesetzt. Zusätzlich wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient erhoben.

Die Statistische Auswertung und Diagrammdarstellung erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics 22. Die Signifikanzschwelle wurde bei 0,05 festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Patientendaten

Nach der Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden 28 Patienten mit 30 Füßen in die Studie eingeschlossen. Davon waren 25 Frauen und 3 Männer. Bei zwei Patienten wurde der Eingriff an beiden Füßen unternommen. Alle Eingriffe fanden am DOUW der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg statt. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug 52,5 Jahre, wobei der jüngste Patient 16 Jahre und der älteste 73 Jahre war. Der durchschnittliche Body-Mass-Index betrug 25,2 Punkte bei einer Range von 17,6 bis 37,4 Punkten (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Allgemeine Patientendaten

| | Mittelwert | STABW | Min | Max |
|--------------------------|-------------------|--------------|------------|------------|
| Alter (Jahre) | 52,5 | 15 | 16 | 73 |
| BMI (kg/m ²) | 25,2 | 4,5 | 17,6 | 37,4 |

4.2 Zusätzliche Operative Eingriffe

Abhängig von der individuellen Pathologie der Patienten war es im Rahmen der operativen Korrektur notwendig, zusätzliche Eingriffe vorzunehmen. Insgesamt kamen drei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Der häufigste zusätzliche Eingriff war die Osteotomie nach Akin. Diese wurde bei 26 der 30 operierten Füßen (86,7 %) durchgeführt. Eine Weil-Osteotomie am zweiten Strahl war bei 16 Füßen (53,4 %) und am zweiten und dritten Strahl bei 3 Füßen (10 %) notwendig. Die Arthrodese des proximalen Interphalangealgelenks (PIP) des zweiten Strahls, wurde bei 13 Füßen (43,3 %) angewandt (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Zusatzeingriffe

| | Akin-Osteotomie | Weil-Osteotomie II. Strahl | Weil-Osteotomie III. Strahl | PIP-Arthrodese II. Strahl |
|------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Anzahl | 26 | 16 | 3 | 13 |
| Anteil Gesamtkollektiv | 86,7 % | 53,4 % | 10 % | 43,3 % |

4.3 Unerwünschte Ereignisse

Von den im Voraus definierten unerwünschten Ereignissen sind folgende aufgetreten:

Tabelle 11: Unerwünschte Ereignisse

| Elevation des MT-I | Metatarsalgie | Wundheilungstörungen | Pseudarthrose | Material-Konflikt |
|--------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 7 | 0 | 3 | 0 | 2 |

Eine verzögerte Wundheilung ist bei drei Patienten aufgetreten. Ein Material-Konflikt entstand in zwei Fällen.

4.4 AOFAS-Score

Der AOFAS Forefoot Score wies präoperativ in der Gesamtheit aller Patienten 62,1 ($\pm 12,2$) von 100 Punkten auf. Postoperativ stieg er durchschnittlich auf 93,6 ($\pm 5,8$) von 100 Punkten an. Diese Entwicklung ist signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$. (vgl. Abb. 13).

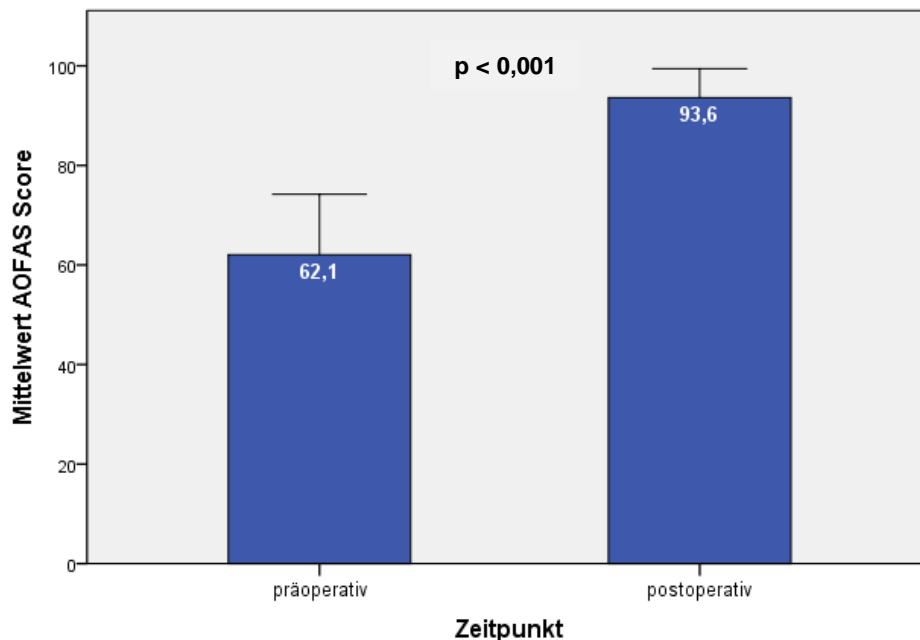


Abb. 13: Prä- und postoperativ evaluierter AOFAS – Score des gesamten Patientenkollektivs

4.5 Radiologische Ergebnisse

4.5.1 Gesamtkollektiv

Zur radiologischen Auswertung wurden ein Jahr postoperativ erhobene Röntgenaufnahmen zur Beurteilung herangezogen. Der präoperativ gemessene HVA betrug durchschnittlich $35,9^\circ$ ($\pm 8,3^\circ$) und betrug postoperativ $11,2^\circ$ ($\pm 6,2^\circ$). Diese Änderung war statistisch signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$. Der durchschnittliche IMA bezifferte sich präoperativ auf $19,2^\circ$ ($\pm 3,2^\circ$) und postoperativ auf $5,3^\circ$ ($\pm 2,1^\circ$). Auch diese Veränderung stellte sich statistisch als signifikant mit einer

Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$ dar. Der gemessene Mittelwert der Elevation des MT-I betrug vor der Operation $2,5^\circ (\pm 1,4^\circ)$ und veränderte sich anschließend auf $-1,8^\circ (\pm 2,2^\circ)$. Diese Korrektur war ebenfalls statistisch signifikant bei einem $p < 0,001$ (vgl. Abb. 14).

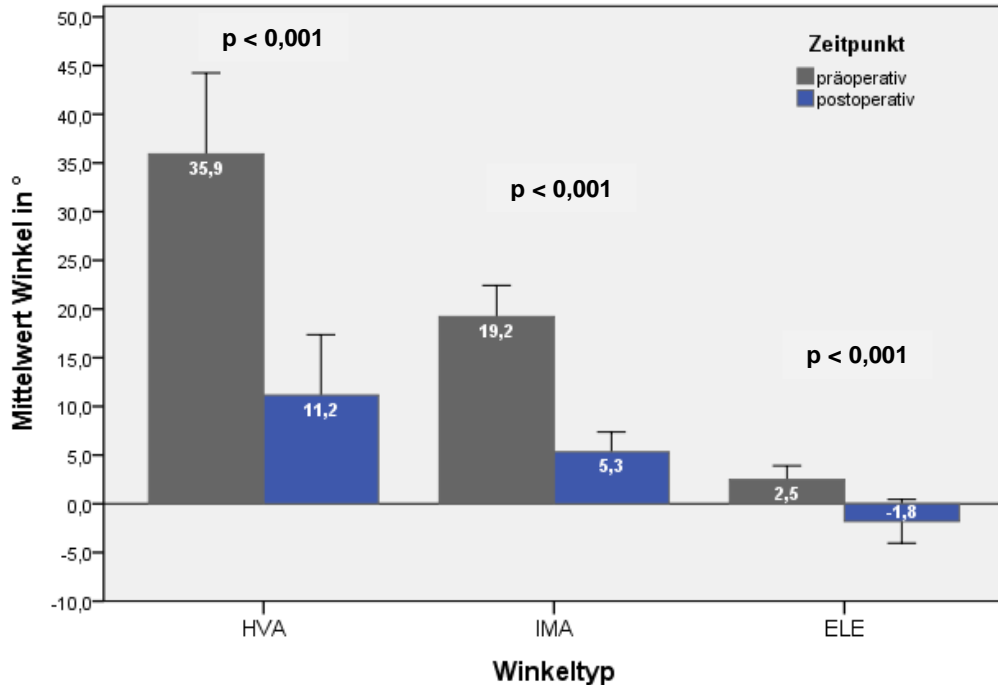


Abb. 14: Prä- und postoperative Mittelwerte der gemessenen Winkel des gesamten Patientenkollektivs.

4.5.2 Einfluss der Elevation des MT-I auf den AOFAS Score

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den klinischen, radiologischen und pedografischen Ergebnissen wurden die Patienten in zwei Gruppen untergliedert. Entscheidend für die Zuteilung war die postoperative Einstellung des MT-I in der Saggitalebe (Elevation). Patienten mit dem Elevationswinkel von kleiner 0° wurden der Gruppe A zugeteilt. Betrug dieser Winkel 0° oder war gar positiv, wurden die Patienten der Gruppe B zugewiesen. Im Zuge dessen ergab sich eine Anzahl an Patienten von 23 (Gruppe A) und 7 (Gruppe B).

Die präoperative Elevation bei Gruppe B belief sich auf $3,5^\circ (\pm 1,5^\circ)$ und war somit mit $1,4^\circ (\pm 0,6^\circ)$ signifikant größer als die der Gruppe A. Der p-Wert lag bei 0,024. Bezüglich des präoperativen HVA und des präoperativen IMA bestand zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied ($p=0,139$ bzw. $p=0,107$) (vgl. Abb. 15).

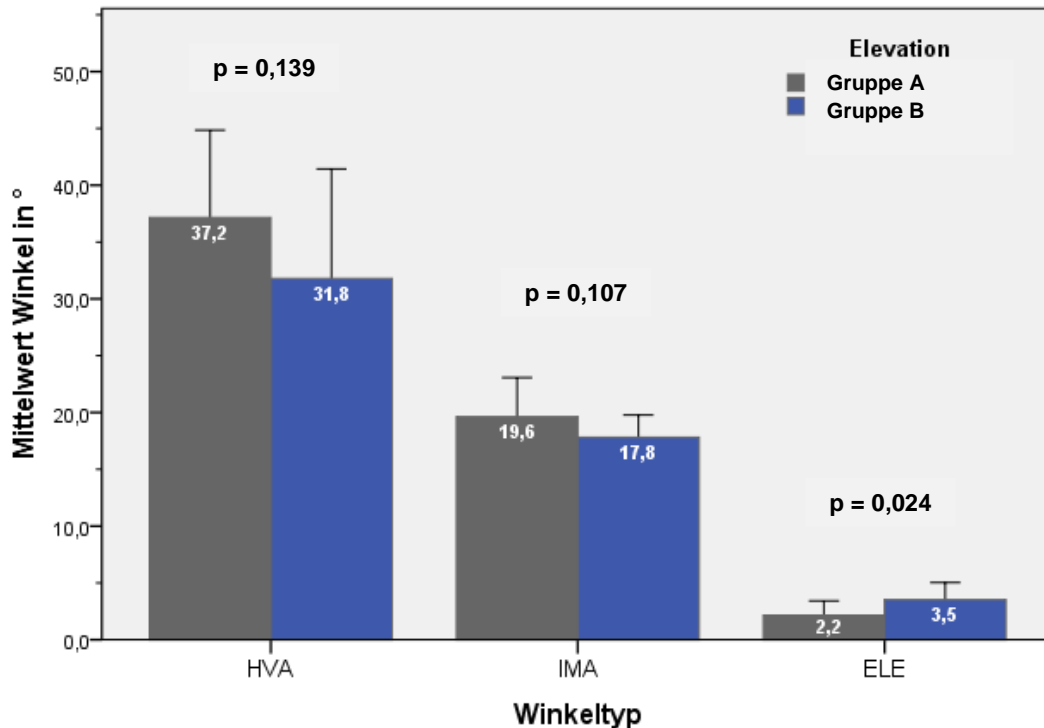


Abb. 15: Präoperativer Vergleich der verschiedenen Winkeltypen zwischen Gruppe A und B.

In Abbildung 16 ist der postoperative Vergleich der Gruppen A und B dargestellt. Es bestand kein signifikanter Unterschied im Vergleich der gemessenen postoperativen HVA. Der postoperative IMA war in Gruppe B signifikant höher als in der Vergleichsgruppe. Er betrug $6,7^\circ (\pm 1,7^\circ)$ in der Gruppe B im Vergleich zu $4,9^\circ (\pm 2,0^\circ)$ in der Gruppe A bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,033$. Der Unterschied in der Elevation der beiden Gruppen war signifikant bei einem $p < 0,001$. Die Mittelwerte betrugen $-2,8^\circ (\pm 1,2^\circ)$ in der Gruppe A und $1,4^\circ (\pm 2,0^\circ)$ in der Gruppe B. Es ist zu beachten, dass die Gruppen anhand dieses Merkmals eingeteilt wurden (vgl. Abb. 16).

Im AOFAS Score zeigten sich präoperativ in beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Die Mittelwerte der Gruppen bezifferten sich auf $63,2 (\pm 12,5)$ bzw. $58,4 (\pm 10,8)$ Punkten bei einem p-Wert von $0,375$ (vgl. Abb. 16). Postoperativ jedoch konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen gezeigt werden ($p < 0,001$). Gruppe A hatten im Durchschnitt einen Punktwert von $95,7 (\pm 4,6)$ und somit $9,0 (\pm 1,9)$ Punkte mehr als Gruppe B, welche $86,7 (\pm 4,0)$ Punkte erzielte (vgl. Abb. 17).

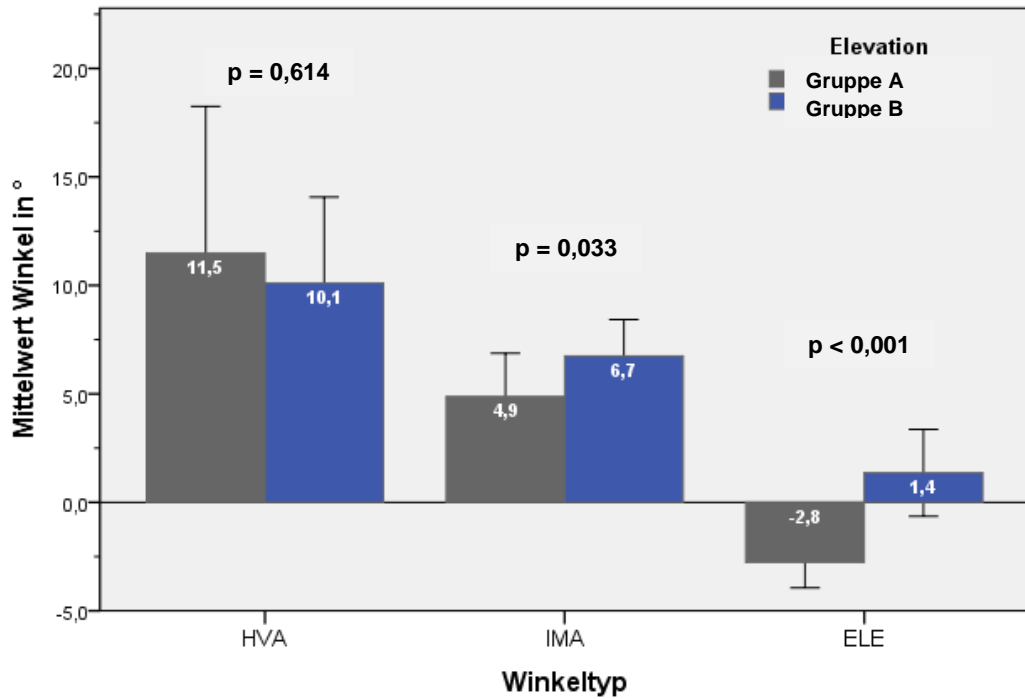


Abb. 16: Postoperativer Vergleich der verschiedenen Winkeltypen zwischen Gruppe A und B

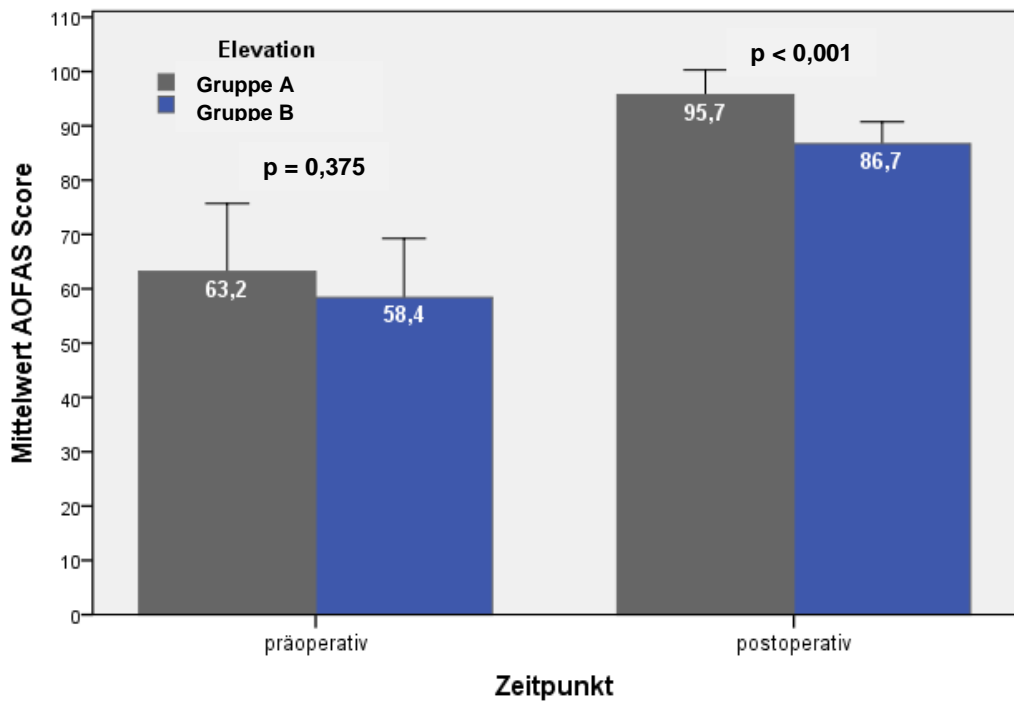


Abb. 17: Prä- und postoperativer Vergleich hinsichtlich des AOFAS Score bei Gruppe A und B.

4.6 Pedobarografische Ergebnisse

4.6.1 Gesamtkollektiv

Impuls

Die prä- und postoperativen Mittelwerte des Impulses bzw. Kraft-Zeit-Integrals sind in der Abbildung 18 dargestellt. Signifikante Unterschiede ergaben sich in zwei Bereichen: zum einen am medialen Vorfuß, hier stieg der Mittelwert von 9,1 %*s ($\pm 3,9\%*s$) auf 11,4 %*s ($\pm 3,9\%*s$) an ($p=0,022$), zum anderen im Bereich der Großzehe, hier veränderte sich der Impuls von 2,5 %*s ($\pm 1,7\%*s$) auf 1,8 %*s ($\pm 1,8\%*s$) ($p=0,041$). Die übrigen Bereiche zeigten keine statistisch relevanten Unterschiede. So auch im Bereich der Ferse: Der präoperative Wert belief sich auf 18,1 %*s ($\pm 4,1\%*s$) und der postoperative auf 17,1 %*s ($\pm 4,5\%*s$) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,160$ (vgl. Abb. 18).

Kraftmaximum

Das Kraftmaximum veränderte sich postoperativ signifikant im Bereich des medialen Vorfußes mit einem p-Wert von 0,002 und im Bereich des Mittelfußes mit einem p-Wert von 0,011. In den übrigen Bereichen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (vgl. Abb. 19).

Spitzendruck

In der Abbildung 20 sind die Spitzendrücke aller Patienten im prä- und postoperativen Vergleich dargestellt. In dem Bereich des medialen und lateralen Vorfußes, sowie der Großzehe bestand ein signifikanter Unterschied. Der präoperative Wert im Bereich des medialen Vorfußes erhöhte sich von 474,0 kPa ($\pm 211,3$ kPa) auf postoperativ 582,1 kPa ($\pm 283,6$ kPa) ($p=0,03$). Im Areal des lateralen Vorfußes erhöhte sich der Spitzendruck von 551,4 kPa ($\pm 236,6$ kPa) auf 657,8 kPa ($\pm 236,3$ kPa) bei einem p-Wert von 0,05. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,03$ fiel der Spitzendruck im Bereich der Großzehe signifikant von 471,5 kPa ($\pm 224,7$ kPa) präoperativ auf 291,3 kPa ($\pm 227,5$ kPa). Der Spitzendruck in den übrigen Zonen hat sich nicht statistisch signifikant verändert (vgl. Abb. 20).

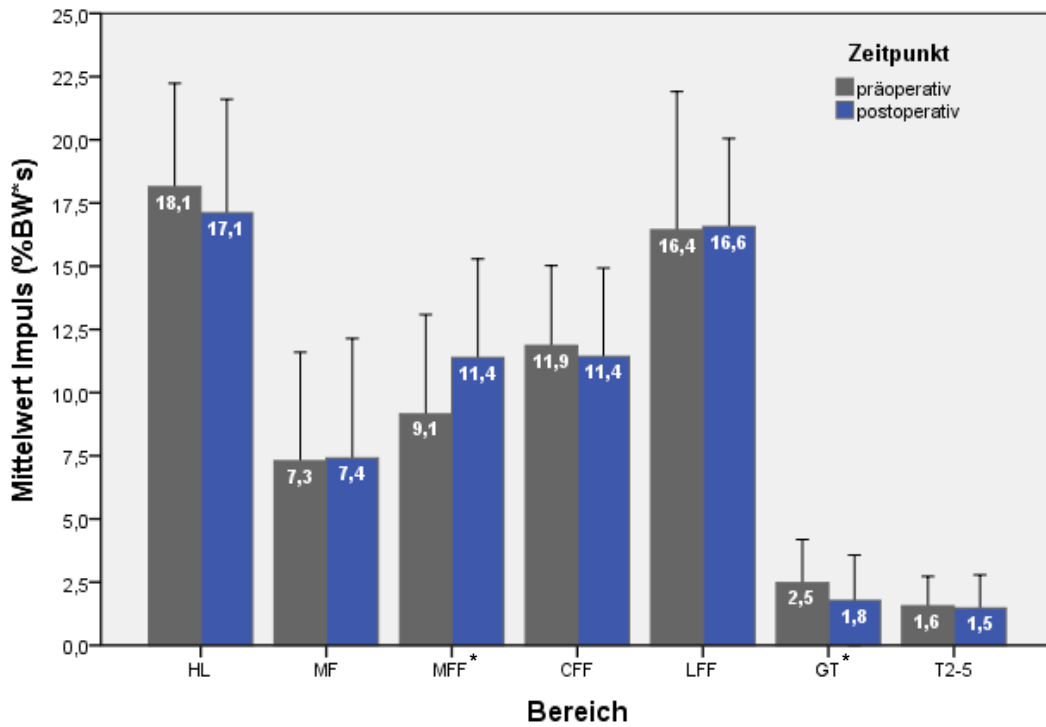


Abb. 18: Prä- und postoperativer Impuls (%BW*s) aller Fußzonen des gesamten Patientenkollektivs; * = Signifikanz

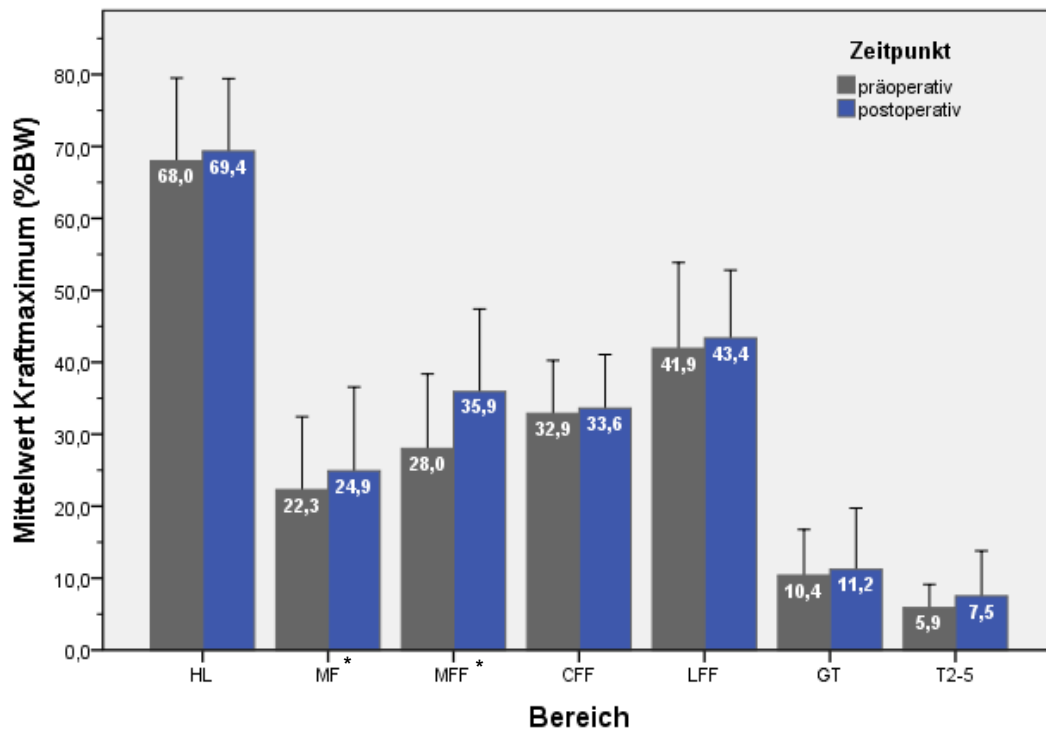


Abb. 19: Prä- und postoperatives Kraftmaximum (%BW) aller Fußzonen des gesamten Patientenkollektivs; * = Signifikanz

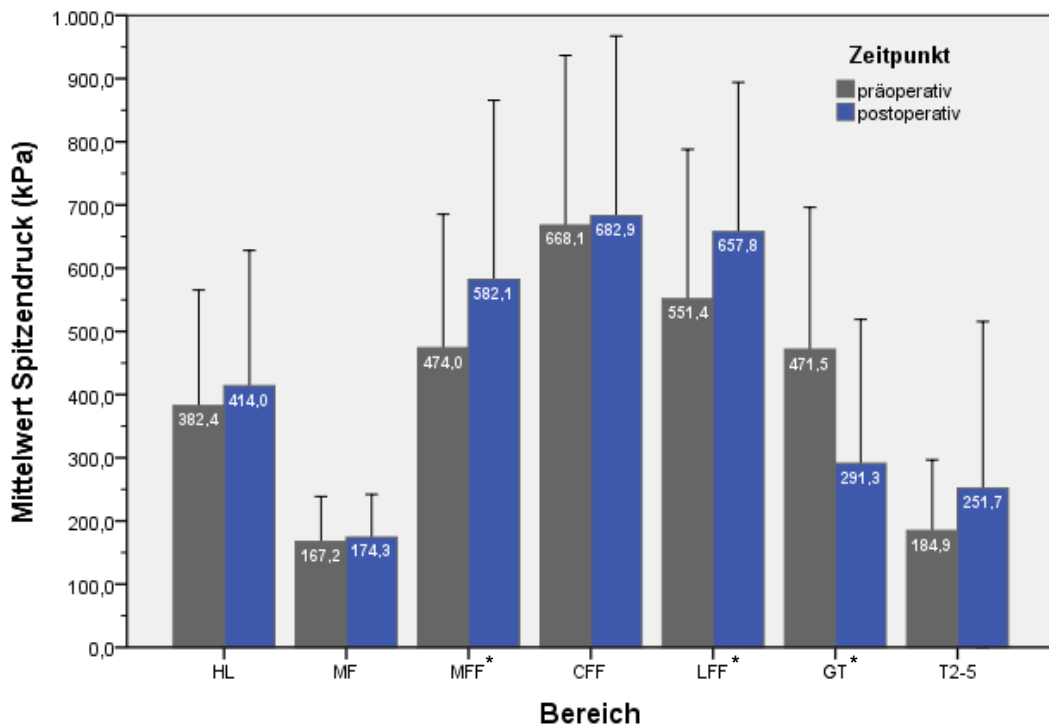


Abb. 20: Prä- und postoperativer Spitzendruck (kPa) aller Fußzonen des gesamten Patientenkollektivs; * = Signifikanz

4.6.2 Einfluss der Elevation des MT-I auf die Pedobarografie

Es erfolgte die identische Gruppeneinteilung wie im Abschnitt 4.4.2.

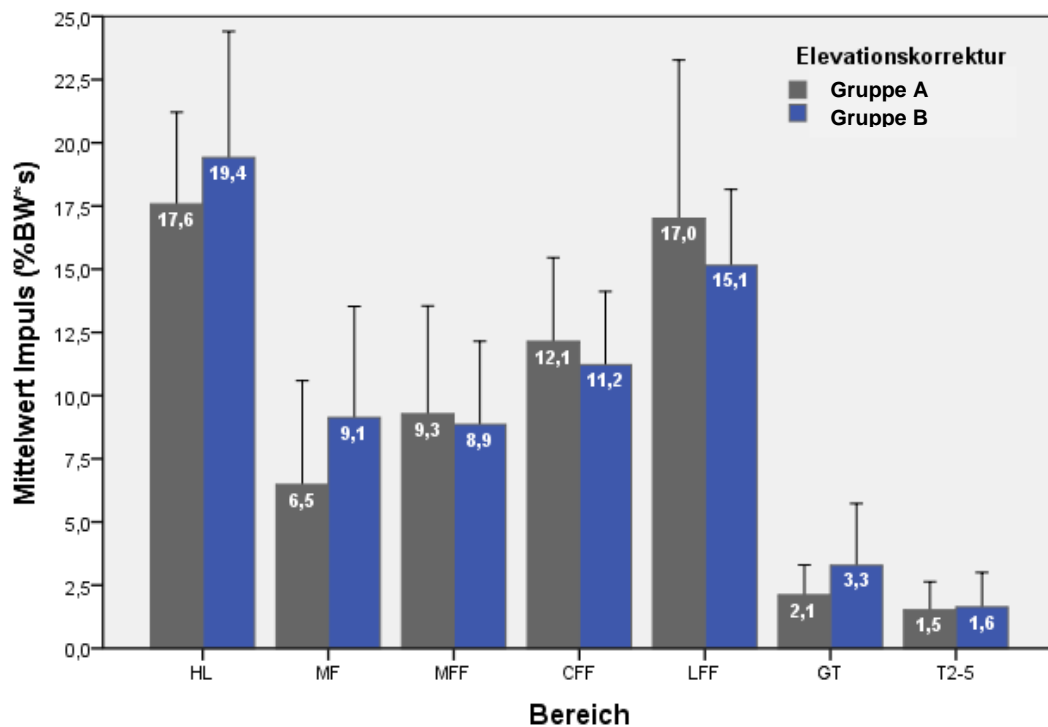


Abb. 21: Präoperativer Vergleich des Impulses (in %BW*s) aller Fußareale zwischen Gruppe A und B

Impuls

In Bezug auf den Impuls bestanden präoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen A und B (vgl. Abb. 21).

Postoperativ jedoch stellte sich ein signifikanter Unterschied im Bereich des medialen Vorfußes ein. Hier zeigte die Gruppe A einen signifikant höheren Impuls als das Vergleichskollektiv. Dieser betrug 12,6 %*s ($\pm 3,9$ %*s) im Vergleich zu 8,6 %*s ($\pm 2,3$ %*s) bei einem p-Wert von 0,014 (vgl. Abb. 22).

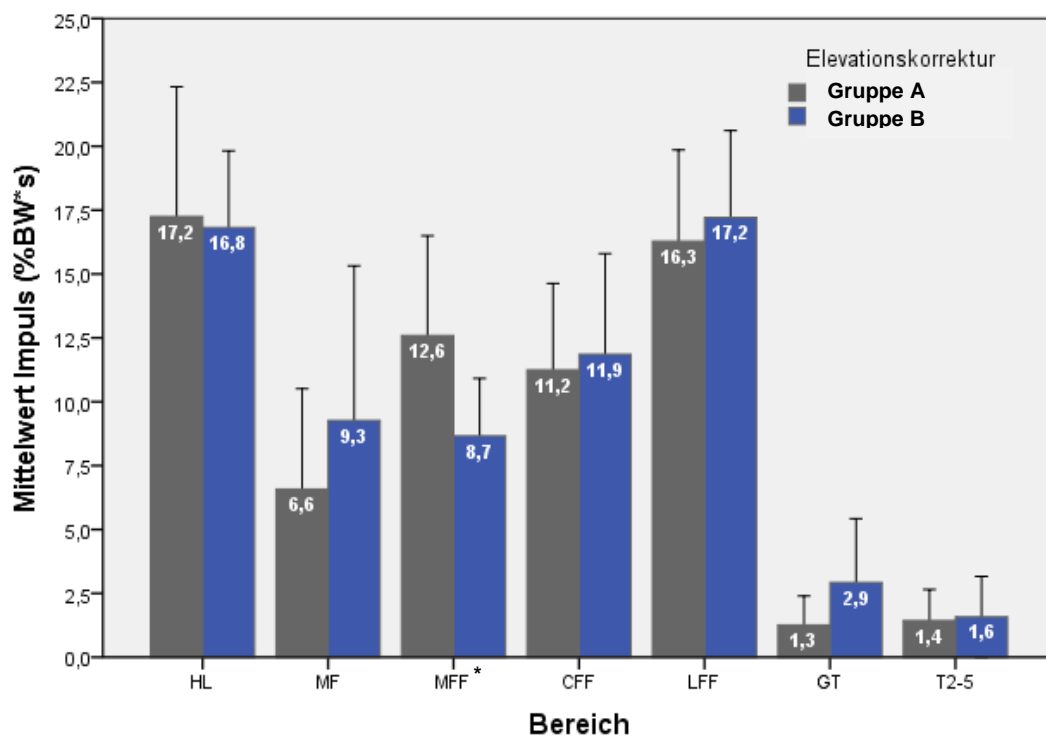


Abb. 22: Postoperativer Vergleich des Impulses (in %BW*s) aller Fußareale zwischen Gruppe A und B; * = Signifikanz

Kraftmaximum

Beim Kraftmaximum zeigten sich ebenfalls präoperativ in allen Bereichen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (vgl. Abb. 23).

Postoperativ präsentierte sich eine signifikante Änderung im Bereich des medialen Vorfußes. Die Gruppe A zeigte mit 40,1 % ($\pm 10,5$ %) einen signifikant höheren Wert im Vergleich zu 26,5 % ($\pm 7,5$ %) in der Gruppe B ($p= 0,003$). Die Abbildung 24 lässt erkennen, dass die übrigen Zonen des Fußes sich zwischen den Gruppen statistisch nicht unterscheiden.

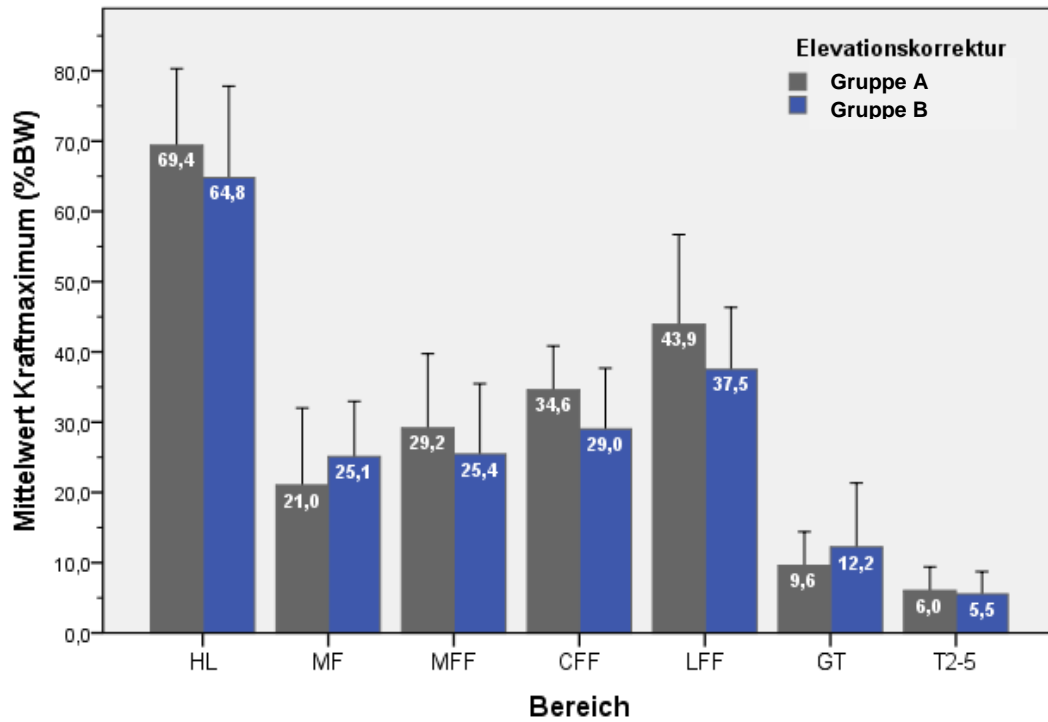


Abb. 23: Präoperativer Vergleich des Kraftmaximums (in %BW) aller Fußareale zwischen Gruppe A und B

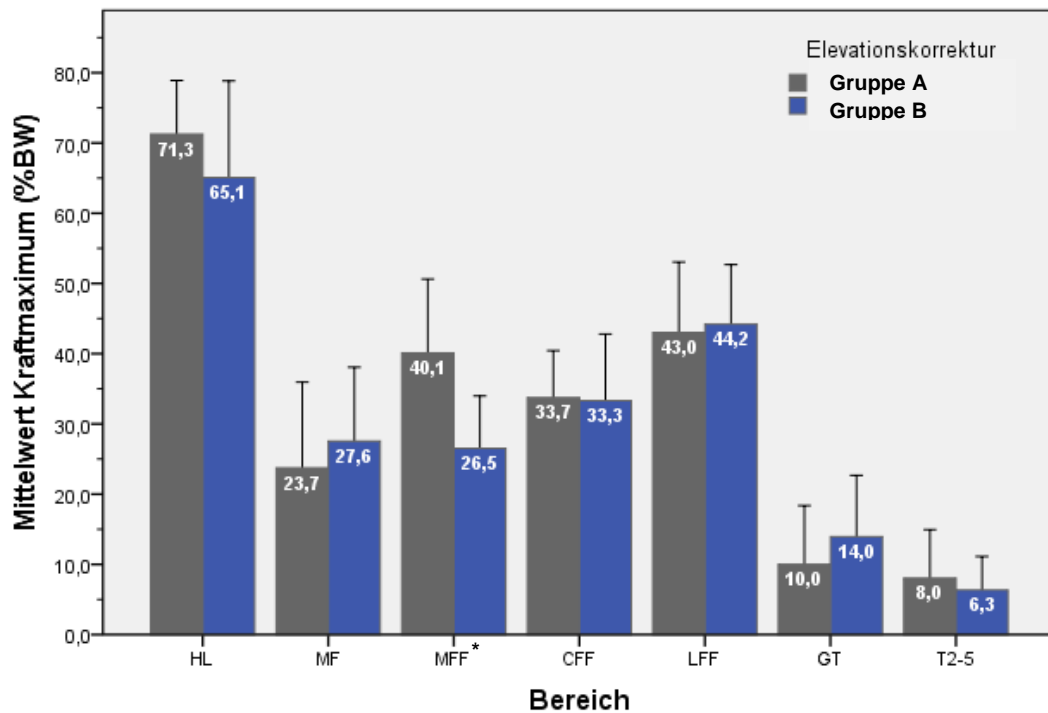


Abb. 24: Postoperativer Vergleich des Kraftmaximums (in %BW) aller Fußareale zwischen Gruppe A und B; * = Signifikanz

Spitzendruck

In Abbildung 25 sind die präoperativen Spitzendrücke aller Fußzonen der Gruppe A und B aufgezeigt. Trotz sichtbarer Unterschiede der einzelnen Werte konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden.

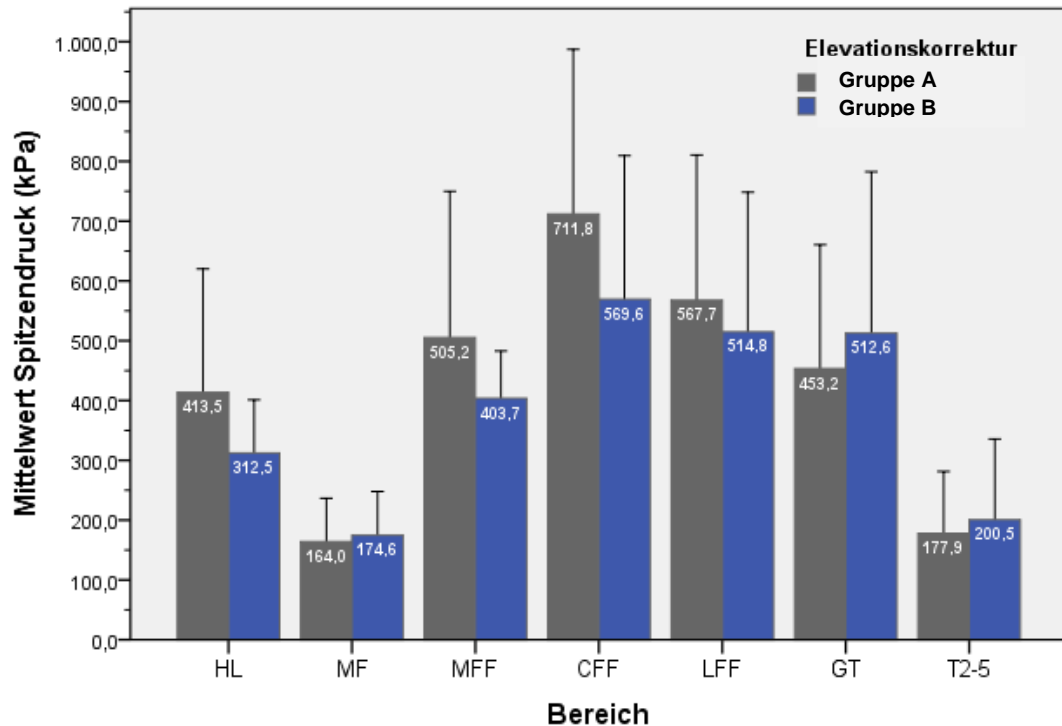


Abb. 25: Präoperativer Vergleich des Spitzendrucks (in kPa) aller Fußareale zwischen Gruppe A und B.

Die postoperativen Spitzendrücke sind in Abbildung 26 dargestellt. Auch hier existierten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

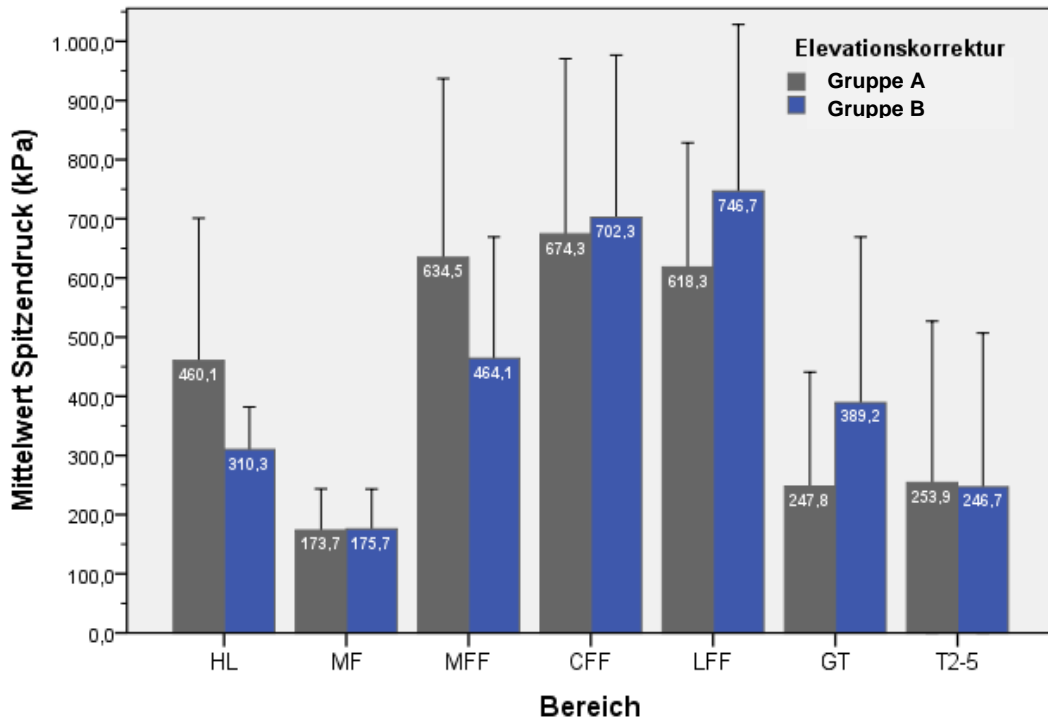


Abb. 26: Postoperativer Vergleich des Spitzendrucks (in kPa) aller Fußareale zwischen Gruppe A und B.

4.7 Einfluss auf Transfermetatarsalgie

Hier wurden nur die Patienten betrachtet, welche ausschließlich am ersten Strahl des Vorfußes operiert worden sind (12 Patienten). Eine weitere Unterteilung erfolgte dahingehend, ob die Patienten präoperativ an einer Transfermetatarsalgie ohne eine strukturelle Veränderung litten. Dazu zählen Krallenzehen, Überlänge der lateralen Metatarsale oder Instabilität der MTP Gelenke. Bei sieben Patienten (Gruppe A) war dies der Fall und bei den übrigen fünf (Gruppe B) nicht.

Im präoperativen AOFAS Score zeigten Patienten, welche über eine Transfermetatarsalgie klagten (Gruppe A), im Durchschnitt einen Punktwert von 59,1 ($\pm 9,3$). Patienten der Gruppe B wiesen im Durchschnitt 72,6 ($\pm 8,7$) Punkte auf (vgl. Abb. 27).

Postoperativ näherten sich die beiden Gruppen in Bezug auf den AOFAS Score an. Die Gruppe A wies 97,4 ($\pm 3,2$) Punkte und die Gruppe B 96,8 ($\pm 4,6$) Punkte auf (vgl. Abb. 27).

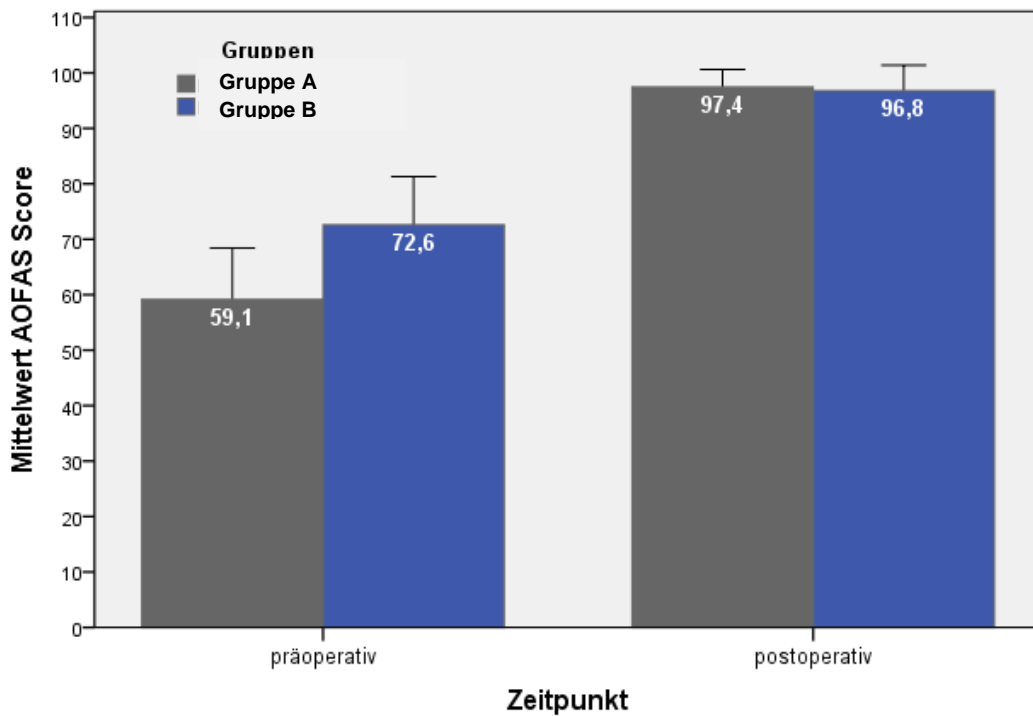


Abb. 27: Prä- und postoperativer Vergleich hinsichtlich des AOFAS Score bei Gruppe A und B

In den Abbildungen 28 und 29 sind sowohl die prä- als auch die postoperativen radiologisch gemessenen Winkel aufgezeigt.

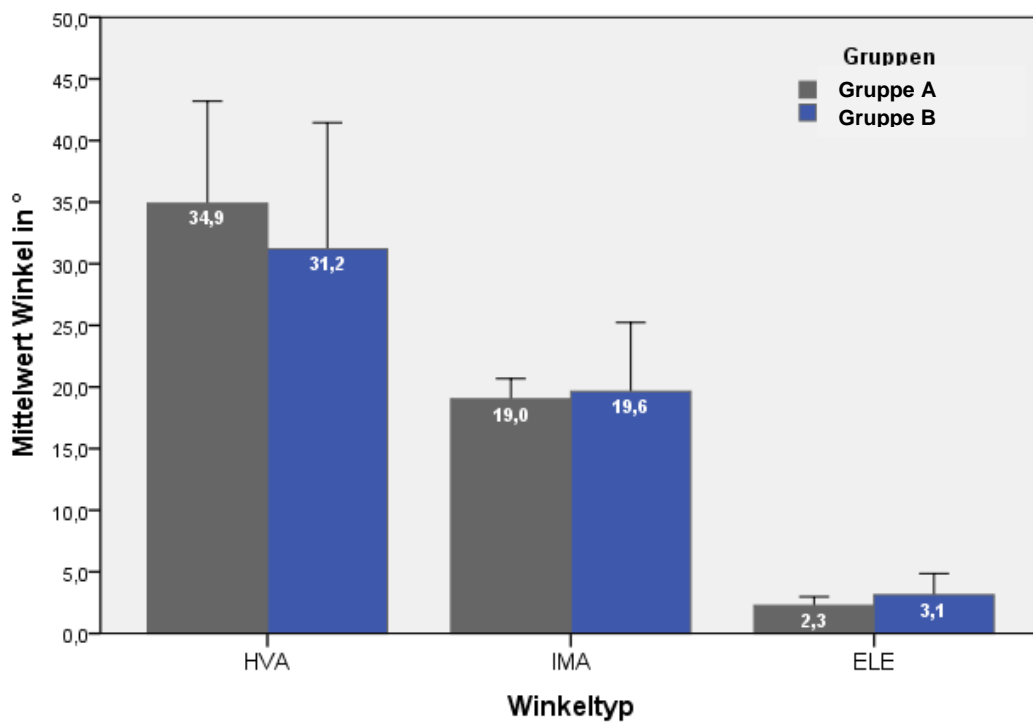


Abb. 28: Präoperativer Vergleich der verschiedenen Winkeltypen zwischen Gruppe A und B.

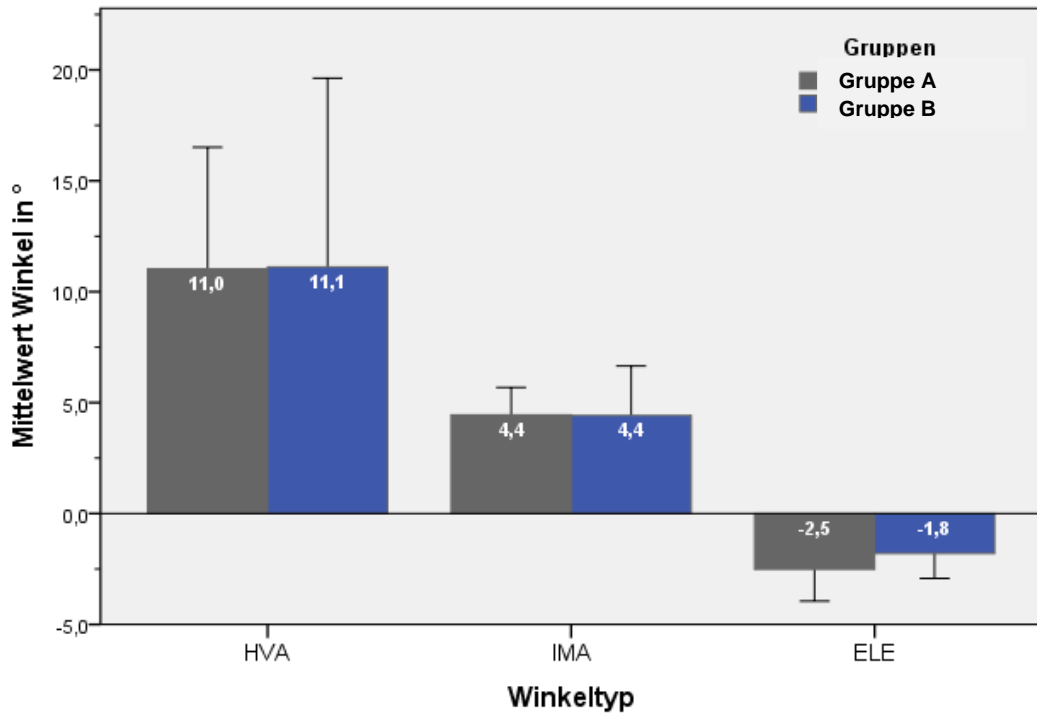


Abb. 29: Postoperativer Vergleich der verschiedenen Winkeltypen zwischen Gruppe A und B.

Es konnte aufgrund der geringen Patientenzahl keine Aussage über eine signifikante Änderung der pedobarografischen Parameter getroffen werden.

4.8 Korrelationen

Um den Einfluss verschiedener Parameter auf den AOFAS Score zu differenzieren, wurde postoperativ der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet und anschließend die Ergebnisse zweiseitig auf Signifikanz überprüft.

4.8.1 Korrelation zwischen AOFAS Score und den radiologischen Daten

Es bestanden lineare Zusammenhänge zwischen dem IMA und dem AOFAS Score sowie der Elevation und dem AOFAS Score. Diese waren umgekehrt proportional. Das bedeutet, je geringer beide Winkel postoperativ waren, desto höher fiel der AOFAS Score aus. Der Pearson-Koeffizient lag in Bezug auf die Elevation bei -0,534 bei einer Signifikanz von $p=0,002$. Der IMA korrelierte mit -0,399 bei einem p -Wert von 0,029. Zwischen dem HVA und dem AOFAS Score konnte kein Zusammenhang festgestellt werden (vgl. Tab. 4).

Tabelle 4: Pearson-Korrelation zwischen postoperativen Winkel und AOFAS Score

| | | HVA | IMA | ELE |
|-------------|---------------------|-------|--------|-------|
| AOFAS Score | Pearson-Korrelation | -,009 | -,399* | -,534 |
| | Sig. (2-seitig) | ,961 | ,029 | ,002 |

4.8.2 Korrelation zwischen AOFAS Score und den pedobarografischen Ergebnissen

Impuls

Der Mittelfuß wies einen signifikanten Korrelationskoeffizienten von -0,465 bei einem p von 0,017 auf. Der mediale Vorfuß zeigte einen schwachen Koeffizienten mit 0,279, welcher allerdings nicht signifikant war (vgl. Tab. 5). Übrige Fußzonen wiesen keine signifikante Korrelation mit dem AOFAS Score auf.

Tabelle 5: Postoperative Pearson-Korrelation zwischen dem Impuls und dem AOFAS Score.

| | | HL | MF | MFF | CFF | LFF | GT | T2-5 |
|-------------|---------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| AOFAS Score | Pearson-Korrelation | -,159 | -,465 | ,279 | ,209 | -,023 | -,044 | -,010 |
| | Sig. (2-seitig) | ,437 | ,017 | ,168 | ,305 | ,913 | ,831 | ,963 |

Kraftmaximum

Wird das Kraftmaximum betrachtet, waren signifikante Korrelationen in absteigender Reihenfolge bei der Ferse, dem zentralen Vorfuß und dem medialen Vorfuß vorzuweisen. Die dazugehörigen Koeffizienten betragen 0,516, 0,417 sowie 0,388. Beim letzteren bestand somit eine mäßige Korrelation ($p=0,050$) zwischen Kraftmaximum und dem AOFAS Score (vgl. Tab. 6).

Tabelle 6: Postoperative Pearson-Korrelation zwischen dem Kraftmaximum und dem AOFAS Score.

| | | HL | MF | MFF | CFF | LFF | GT | T2-5 |
|-------------|---------------------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| AOFAS Score | Pearson-Korrelation | ,516 | -,323 | ,388 | ,416 | -,039 | ,158 | ,193 |
| | Sig. (2-seitig) | ,007 | ,107 | ,050 | ,035 | ,848 | ,441 | ,345 |

Spitzendruck

Bei der Berechnung der Koeffizienten des Spitzendrucks bestand eine Signifikanz im Bereich des Mittelfußes. Dieser korrelierte mit $r = -0,436$ (vgl. Tab. 7). Übrige Fußzonen wiesen keine signifikante Korrelation mit dem AOFAS Score auf.

Tabelle 7: Postoperative Pearson-Korrelation zwischen dem Spitzendruck und dem AOFAS Score.

| | HL | MF | MFF | CFF | LFF | GT | T2-5 |
|---------------------|------|--------|------|-------|-------|-------|------|
| AOFAS Score | | | | | | | |
| Pearson-Korrelation | ,083 | -,436* | ,047 | -,104 | -,302 | -,092 | ,089 |
| Sig. (2-seitig) | ,687 | ,026 | ,818 | ,613 | ,134 | ,655 | ,667 |

*. Korrelation ist bei Niveau 0,05 signifikant (zweiseitig).

4.8.3 Korrelation zwischen den pedografischen und radiologischen Ergebnissen

Impuls

Es bestanden keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Impuls und den radiologisch gemessenen Winkeln in allen Fußzonen (vgl. Tab. 8).

Tabelle 8: Postoperative Pearson-Korrelation zwischen dem Impuls und den radiologischen Winkelmaßen.

| | HL | MF | MFF | CFF | LFF | GT | T2-5 |
|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
| HVA | | | | | | | |
| Pearson-Korrelation | ,134 | ,143 | ,176 | -,042 | -,036 | ,260 | ,150 |
| Sig. (2-seitig) | ,512 | ,487 | ,390 | ,840 | ,861 | ,200 | ,465 |
| IMA | | | | | | | |
| Pearson-Korrelation | ,158 | ,052 | ,289 | -,167 | -,090 | ,080 | ,021 |
| Sig. (2-seitig) | ,442 | ,800 | ,152 | ,414 | ,663 | ,699 | ,918 |
| ELE | | | | | | | |
| Pearson-Korrelation | -,117 | -,002 | ,045 | -,281 | -,224 | ,047 | ,108 |
| Sig. (2-seitig) | ,569 | ,994 | ,828 | ,164 | ,271 | ,819 | ,600 |

Kraftmaximum

Es bestanden keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Kraftmaximum und den radiologisch gemessenen Winkeln in allen Fußzonen (vgl. Tab. 9).

Tabelle 9: Postoperative Pearson-Korrelation zwischen dem Kraftmaximum und den radiologischen Winkelmaßen.

| | | HL | MF | MFF | CFF | LFF | GT | T2-5 |
|-----|---------------------|---------|--------|------|-------|-------|------|------|
| HVA | Pearson-Korrelation | -,360 | ,014** | ,072 | -,175 | -,186 | ,035 | ,020 |
| | Sig. (2-seitig) | ,070 | ,945 | ,727 | ,392 | ,362 | ,865 | ,921 |
| IMA | Pearson-Korrelation | -,184** | ,024 | ,214 | -,360 | ,020 | ,084 | ,111 |
| | Sig. (2-seitig) | ,369 | ,906 | ,295 | ,071 | ,924 | ,684 | ,590 |
| ELE | Pearson-Korrelation | ,107 | ,062 | ,122 | -,207 | -,029 | ,125 | ,274 |
| | Sig. (2-seitig) | ,601 | ,764 | ,552 | ,311 | ,889 | ,544 | ,176 |

Spitzendruck

Es existierten keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Spitzendruck und den radiologisch gemessenen Winkeln in allen Fußzonen (vgl. Tab. 10).

Tabelle 10: Postoperative Pearson-Korrelation zwischen dem Spitzendruck und den radiologischen Winkelmaßen.

| | | HL | MF | MFF | CFF | LFF | GT | T2-5 |
|-----|---------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|
| HVA | Pearson-Korrelation | -,137 | ,127 | -,008 | -,113 | -,093 | ,126 | ,217 |
| | Sig. (2-seitig) | ,506 | ,537 | ,971 | ,581 | ,653 | ,539 | ,288 |
| IMA | Pearson-Korrelation | ,258 | ,081 | -,055 | -,329 | ,086 | ,036 | ,269 |
| | Sig. (2-seitig) | ,203 | ,694 | ,791 | ,101 | ,675 | ,860 | ,184 |
| ELE | Pearson-Korrelation | -,212 | ,049 | -,034 | -,200 | ,013 | ,025 | ,292 |
| | Sig. (2-seitig) | ,298 | ,812 | ,869 | ,328 | ,948 | ,903 | ,148 |

5 Diskussion

Zahlreiche Operationstechniken sind in der Literatur beschrieben, welche auf eine Schmerzreduktion, Korrektur der Fehlstellung und einen merklichen Funktionsgewinn in der Behandlung des HV abzielen (Richter 2010). Dafür sind konservative Therapiekonzepte meist nicht ausreichend (Wülker 1997a). Berücksichtigung finden sollte die individuelle Pathologie der Deformität (Richter 2010). Die Hypermobilität im TMT-I-Gelenk wird in der Literatur weiterhin kontrovers diskutiert und von einer Reihe von Autoren als ursächlich für die Entstehung der Deformität angenommen (Klaue et al. 1994; Myerson und Badekas 2000; Coughlin und Jones 2007; Dietze et al. 2013). Bei bestehender Hypermobilität des TMT-I-Gelenks stellt die modifizierte Lapidusarthrodese ein bewährtes Verfahren zur operativen Behandlung eines HV dar (Bednarz und Manoli 2000; Fuhrmann 2005; Richter 2010).

Ein bedeutender Nachteil dieses Verfahrens ist, im Gegensatz zu den komplikationsärmeren distalen Korrekturverfahren, die hohe Rate an Pseudarthrosen, welche in der Literatur mit 3,3 % bis 10 % beziffert wird (Grace et al. 1999; Myerson et al. 1992; Catanzariti et al. 1999; Patel et al. 2004; Sangeorzan und Hansen 1989; Fuhrmann 2005; Menke et al. 2011). Als Ursachen gelten ungünstige Hebelverhältnisse mit langen Metatarsalknochen und kleinen Gelenkflächen (Wünschel 2011). Es stehen diverse Osteosyntheseverfahren mit unterschiedlichen Pseudarthrosenraten zur Verfügung. Eine Reihe von Autoren präsentierten gute Ergebnisse mit Schraubenosteosynthesen (Rink-Brüne 2004; Trnka und Hofstätter 2005; Coughlin und Grimes 2005). Dabei beobachtete Rink-Brüne eine Pseudarthrose-Rate von lediglich 1,8 % (Rink-Brüne 2004). Blitz et al. zeigte in seiner Untersuchung eine erfolgreiche knöcherne Konsolidierung von 100 % bei 80 operierten Füßen (Blitz et al. 2010). Als Nachteil wird jedoch die notwendige belastungsfreie Rehabilitationsdauer von sechs bis acht Wochen gesehen. (Rink-Brüne 2004; Saxena et al. 2009).

Klos et al. zeigten in einer biomechanischen Kadaverstudie eine deutliche Überlegenheit einer medial angebrachten winkelstabilen Platte mit einer Kompressionsschraube gegenüber den zwei gekreuzten Schrauben zur TMT-I-Arthrodese (Klos et al. 2010). Ähnliche Ergebnisse präsentierte Scranton et al. in seiner biomechanischen Kadaverstudie. Es bestand eine deutliche biomechanische Überlegenheit der ebenfalls winkelstabilen medialen Plattenosteosynthese im Vergleich zu der Schraubenosteosynthese (Scranton et al. 2009).

Klinische Studien zu dorsomedialen Plattenosteosynthesen lieferten unterschiedliche Ergebnisse. Während Sorensen et al., Saxena et al., Cottom et. al und DeVries et al.

sehr niedrige Pseudarthrose-Raten von 0 % bis 2,1 % publizierten, traten bei Menke et al. und Fuhrmann Pseudarthrosen mit einer Häufigkeit von 9,5 % bzw. 6,0 % auf (Sorensen et al. 2009; Saxena et al. 2009; Cottom und Vora 2013; DeVries et al. 2011; Menke et al. 2011; Fuhrmann 2005). Sorensen et al. wiesen in ihrer Arbeit mit einer dorsomedialen winkelstabilen Plattenosteosynthese zur TMT-I-Arthrodese eine 100%ige Konsolidierung nach (Sorensen et al. 2009). Saxena et al. präsentieren bei 21 Patienten mit einer Plattenosteosynthese ebenfalls eine Konsolidierungs-Rate von 100 % (Saxena et al. 2009). DeVries et al. untersuchten in einer retrospektiven Studie 143 HV-Patienten, wobei 96 mit zwei gekreuzten Schrauben und 47 mit einer dorsomedialen Platte versorgt wurden. Es entwickelten 10,6 % der Patienten mit Schrauben und 2,1 % der Patienten mit einer dorsomedialen winkelstabilen Plattenosteosynthese eine Pseudarthrose (DeVries et al. 2011). 2013 veröffentlichten Cottom et al. ebenfalls eine retrospektive Studie zu einer dorsomedialen Plattenosteosynthese, in der 88 Patienten untersucht wurden. Die Autoren dokumentierten eine Entstehung von Pseudarthrosen bei ca. 2 % aller Patienten (Cottom und Vora 2013). Menke et al. evaluierten retrospektiv 21 Arthrodesen mit dorsomedialer winkelstabiler Plattenosteosynthese. In zwei Fällen entwickelte sich eine asymptomatische Pseudarthrose (9,5 %) (Menke et al. 2011). Fuhrmann veröffentlichte 2005 in einer prospektiven Studie ihre Ergebnisse nach einer dorsomedialen winkelstabilen Plattenosteosynthese ohne zusätzliche Kompressionsschraube. Es bestand eine Pseudarthroserate von 6,2 % bei 64 operierten Patienten (Fuhrmann 2005). Allen Arbeiten gemeinsam ist eine mehrwöchige postoperative Entlastungsphase.

In einer 2011 von Klos et al. veröffentlichten Kadaverstudie wurden die biomechanischen Eigenschaften einer von plantar angebrachten Plattenosteosynthese mit einer dorsomedialen Plattenosteosynthese verglichen. Die plantare Platte hatte eine signifikant höhere Steifigkeit, einen geringeren Bewegungsumfang und eine höhere Widerstandsfähigkeit. Als Ursache dafür wird ein Zuggurtungsmechanismus gesehen, welcher die wirkenden Kräfte in Richtung Gelenkspalt zeigen lässt. Dies führt zu einer eigenständigen Kompression der Arthrodese unter Belastung. Durch das niedrige Profil des Materials und die Überlagerung durch den M. abductor hallucis werden Weichteilirritationen und Materialkonflikte reduziert (Klos et al. 2011; Walther et al. 2011).

In einer ersten klinischen Vergleichsstudie wies Walther et al. ein signifikant geringeres Risiko für unerwünschte Ereignisse wie Pseudarthrosen bei Patienten mit einer plantaren Platte gegenüber Patienten mit einer dorsalen Osteosynthese nach. So traten zwei Pseudarthrosen und eine Wundheilungsstörung mit der dorsalen und keine mit der plantaren Arthrodese auf (Gruppengröße je 20 Patienten) (Klos et al. 2011; Walther et

al. 2011). Klos et al. untersuchten in einer prospektiven Studie 59 plantare Plattenosteosynthesen von 58 Patienten. Lediglich ein Patient (1,72 %) entwickelte im Verlauf eine Pseudarthrose (Klos et al. 2013). Gutteck et al. verglichen in einer prospektiven Studie jeweils 17 Patienten mit einer plantaren und dorsomedialen winkelstabilen Plattenosteosynthese. Es traten in beiden Gruppen keine Pseudarthrosen auf, jedoch bestand in zwei Fällen in der Gruppe mit dorsomedialer Platte eine verspätete Knochenheilung. Insgesamt hatte die Gruppe mit plantarer Osteosynthese ein signifikant geringeres Risiko für unerwünschte Ereignisse (Gutteck et al. 2013).

In der vorliegenden Arbeit wurden alle Patienten mit einer plantaren Osteosyntheseplatte (Darco®-Implantat) der Firma Wright® im Rahmen der TMT-I Korrekturarthrodese zur HV Korrektur versorgt. Alle Patienten wurden im Arthrodeseschuh für sechs Wochen mobilisiert. Es war ihnen gestattet den operierten Fuß im Arthrodeseschuh voll zu belasten. In der ersten postoperativen Woche wurden zur Unterstützung Unterarmstützen angeboten. In der Folge sind im Gesamtkollektiv keine Pseudarthrosen entstanden. Die Ergebnisse entsprachen den Zahlen anderer Autoren, welche ebenfalls eine plantare Plattenosteosynthese verwendeten (Walther et al. 2011; Gutteck et al. 2013; Klos et al. 2013). Die sofortige Vollbelastung führte nicht zu einer Steigerung der Pseudarthrosenbildung. In drei Fällen (10 %) kam es zu Wundheilungsstörungen, die konservativ zum Ausheilen gebracht wurden. In der Literatur werden Wundheilungsprobleme von 0 % bis 3,45% bei plantaren Plattenosteosynthesen beschrieben (Walther et al. 2011; Gutteck et al. 2013; Klos et al. 2013). Bei zwei Patienten (6,7 %) entwickelte sich ein Materialkonflikt, welcher durch eine operative Materialentfernung behandelt wurde. Klos et al. beschrieben, dass bei 1,72 % der Patienten eine Materialentfernung notwendig war (Klos et al. 2013). Gutteck et al. und Walther et al. gaben Raten von 5,8% bzw. 5 % an (Walther et al. 2011; Gutteck et al. 2013). Saxena et al. und DeVries et al. publizierten Zahlen von 7,5 % bzw. 12,7 %. Beide Autoren verwendeten eine dorsomediale Plattenosteosynthese (Saxena et al. 2009; DeVries et al. 2011). Eine Ruptur der Sehne des M. Tibialis anterior trat bei der vorliegenden Arbeit nicht auf. Klos et al. beschrieben bei 1,72 % derer Fälle die genannte Komplikation (Klos et al. 2013).

Um die klinischen Ergebnisse zu evaluieren, wurde der AOFAS Vorfußscore angewandt (Kitaoka et al. 1994). Der AOFAS Score findet trotz der kontroversen Diskussion eine breite Anwendung in zahlreichen klinischen Arbeiten (Coetzee und Wickum 2004; Saxena et al. 2009; Walther et al. 2011; Gutteck et al. 2013; Cottom und Vora 2013; Kostuj et al. 2014). Die Betonung der Schmerzfrage sowie eine asymmetrische Punkteverteilung sind Kritikpunkte (Guyton 2001; Kostuj et al. 2014).

Coetzee et al. und Saxena et al. ermittelten mit einer Schraubenosteosynthese-Technik einen postoperativen AOFAS Vorfußscore von 87 bzw. 89,9 Punkten (Coetzee und Wickum 2004; Saxena et al. 2009). Studien, in der eine dorsomediale Plattenosteosynthese verwendet wurde, wiesen Werte von 88 bis 91 Punkten auf (Saxena et al. 2009; Gutteck et al. 2013; Cottom und Vora 2013). Die intensive Literaturrecherche ergab zur plantaren Plattenosteosynthese lediglich zwei Publikationen, welche den AOFAS Score verwendet haben. Walther et al. und Gutteck et al. beschrieben postoperative Werte von 88,5 bzw. 92 Punkten (Walther et al. 2011; Gutteck et al. 2013). In der Kohorte der vorliegenden Studie stieg der präoperative AOFAS Score, ähnlich zu den Ergebnissen aus vergleichbarer Literatur, von 62,1 auf 93,6 Punkte an. Das jeweilige Osteosynthese Verfahren scheint auf den postoperativen AOFAS Score Wert keinen Einfluss zu haben (Saxena et al. 2009; Gutteck et al. 2013).

Ferner sind die in dieser Studie erzielten radiologischen Ergebnisse mit der vorhergehenden beschriebenen Literatur vergleichbar. Eine Auflistung relevanter Studien ist der Tabelle 9 zu entnehmen. In der Literatur werden postoperative HVA von 9° bis 13° genannt (Kopp et al. 2005; Blitz et al. 2010; Menke et al. 2011; Klos et al. 2013; Gutteck et al. 2013). Der durchschnittliche postoperative HVA der vorliegenden Arbeit beträgt 11,2° und ist somit mit den in der Literatur angegebenen Winkeln vergleichbar. Der durchschnittliche postoperative IMA mit 5,3° ist ebenfalls mit den in der Literatur beschriebenen 5° bis 7° vergleichbar (Kopp et al. 2005; Fuhrmann 2005; Saxena et al. 2009; Blitz et al. 2010; Menke et al. 2011; Klos et al. 2013; Gutteck et al. 2013).

Tabelle 9: Publierte Studien zur Lapidus-Arthrodesen mit postoperativen radiologischen Ergebnissen.

| Autor | HVA | IMA | ELE | Bemerkung |
|-----------------------|-------------|-------------|-------|---------------------------------------|
| Kopp et al. (2005) | 11° | 6° | - | |
| Fuhrmann (2005) | - | 11,2° | - | |
| Saxena et al. (2009) | - | 5° | - | |
| Blitz et al. (2010) | 9,1° | 6,6° | 25,8° | Anderes Messverfahren der Elevation |
| Menke et al. (2011) | 12,2° | 7° | 19,7° | Anderes Messverfahren der Elevation |
| Klos et al. (2013) | 13,2° | 5,2° | 1,5° | |
| Gutteck et al. (2013) | 9,2° / 9,9° | 6,4° / 6,5° | - | plantare / dorsale Osteosynthesplatte |
| vorliegende Studie | 11,2° | 5,3° | -1,8° | |

Es sind nur wenige Daten bezüglich der Rolle der postoperativen Elevation des MT-I publiziert. Erschwerend existieren verschiedene Messmethoden. Blitz et al. und Menke et al. haben die Stellung des MT-I im Bezug zum Boden gemessen, wobei Klos et al. sowie der Autor diese in Relation zum zweiten Metatarsale gesetzt haben (Blitz et al. 2010; Menke et al. 2011; Klos et al. 2013). Jedoch wäre eine valide und reliable Messung der Elevation des ersten Metatarsale wünschenswert, damit Messergebnisse verschiedenster Autoren vergleichbar sind. Die Stellung des Unterschenkels beeinflusst zudem die Belastung der Sprunggelenke und somit die Stellung des MT-I. Richter et al. publizierten erstmals eine Messapparatur (pedCAT®), welche die Knochenposition in einem 3D-Modell genauer als das konventionelle Röntgenbild und die herkömmliche Computertomographie (CT) darstellt. Der Vorteil zum CT-Gerät ist, dass die Aufnahmen unter Vollbelastung im Stehen aufgenommen werden und somit das Fußskelett in seiner natürlichen Stellung positioniert ist. Die Bildqualität des pedCAT® ist in der Auflösung und dem Kontrast der Computertomographie überlegen. Weiterhin beträgt die Strahlenbelastung einer bilateralen Aufnahme mit dem pedCAT® lediglich 17% der Dosis einer herkömmlichen CT-Aufnahme bzw. ist äquivalent mit 18 konventionellen Röntgenaufnahmen. Zeitersparnis und Kostenreduktion für fußchirurgische Kliniken sind zusätzliche Vorteile (Richter et al. 2014). Dieses Gerät stand jedoch bei der vorliegenden Arbeit nicht zur Verfügung. Die Ergebnisse sind lediglich mit Klos et al. vergleichbar. Dieser beschrieb eine Reduzierung des Winkels von 3,9° auf 1,5°. Der Unterschied zum durchschnittlichen postoperativen Wert dieser Studie beträgt ca. 3°. Der Elevationswinkel sank in der vorliegenden Arbeit von 2,5° auf postoperativ -1,8°. Der negative Wert bedeutet, dass die Elevation des MT-I zu MT-II aufgehoben ist und eine leichte Plantarflexion dessen besteht. Klos et al. stützen sich auf die Ergebnisse von Day et al. und strebten eine gering persistierende Dorsalflexion an, da Day et al. keine postoperative Entwicklung von Transfermetatarsalgie bei einer gering bestehenden Elevation des MT-I feststellen konnten (Day et al. 2011; Klos et al. 2013). In dieser Studie war hingegen eine vollständige Korrektur Ziel der Therapie. Dabei stellten Klos et al. fest, dass bei 9,8 % der Patienten postoperativ eine Transfermetatarsalgie bestand, gleichwohl sie sich nicht über den genauen Zusammenhang zwischen Elevation, Kürzung des MT-I und Transfermetatarsalgie bei der Lapidus-Arthrodesse festlegten. Es ist hingegen festzustellen, dass der Untersucher dieser Studie bei keinem Patienten postoperativ eine Transfermetatarsalgie diagnostizierte, obwohl diese bei 83 % der Patienten präoperativ vorhanden war. Ähnlich zu der Schlussfolgerung von Klos et al. unterstreichen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die zentrale Rolle der Einstellung des MT-I in der sagittalen Ebene, insbesondere in Bezug auf die Transfermetatarsalgie (Klos et al. 2013).

Um den Zusammenhang der Transfermetatarsalgie mit der Einstellung des MT-I isoliert und unabhängig betrachten zu können, wurden postoperativ alle Patienten der vorliegenden Arbeit, welche nur am ersten Strahl operiert wurden und somit keine strukturellen Veränderung am zweiten oder dritten MTP-Gelenk erfahren haben, in zwei Gruppen unterteilt. Die Aufteilung erfolgte dahingehend, ob sie präoperativ eine Transfermetatarsalgie ohne begleitende Kleinzehdeformitäten aufwiesen oder diesbezüglich beschwerdefrei waren. Die Gliederung ergab ein kleines Kollektiv von sieben (Transfermetatarsalgie) und fünf (keine Transfermetatarsalgie) Patienten. Folgende Ergebnisse sind aufgrund der zu geringen Patientenanzahl rein deskriptiver Natur. Es bestand ein zu erwartender präoperativer Unterschied im AOFAS Score. Die sieben Patienten mit schmerzhaften Beschwerden unter dem zentralen Vorfuß hatten im Durchschnitt einen Punktwert von 59,1 und die Vergleichsgruppe von 72,6 im AOFAS Score. Jedoch war sowohl im Score (97,4 und 96,8 Punkte) als auch in der Schmerzanamnese postoperativ kein Unterschied mehr ersichtlich. In der Auswertung der radiologischen Daten konnte sowohl prä- als auch postoperativ kein Unterschied zwischen den Gruppen bei dem HVA, IMA und der Elevation des MT-I festgestellt werden. Ebenso existierte kein Unterschied in den prä- und postoperativen pedobarografischen Parametern. Die Ergebnisse legen nahe, dass eine korrekte Einstellung des ersten Metatarsale ohne zusätzliche Eingriffe an den lateralen MTP-Gelenken eine Transfermetatarsalgie reduziert bzw. beseitigt. Ein erheblich größeres Patientenkollektiv mit randomisierten Gruppeneinteilung ist zur endgültigen Beantwortung dieser Fragestellung erforderlich.

Um die Auswirkung der Elevation auf den AOFAS Score zu untersuchen, wurden die Studienteilnehmer postoperativ, wie bereits im Kapitel 3.4.3 erwähnt, in zwei Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 beinhaltete alle Patienten mit einem Elevationswinkel kleiner als 0° . In Gruppe 2 befanden sich die Patienten mit einem Elevationswinkel $\geq 0^\circ$. Es stellte sich ein signifikanter Unterschied im postoperativen AOFAS Score heraus. Gruppe 1 erzielte einen Punktwert von 95,7 und Gruppe 2 von 86,7. Unterstrichen wird die Bedeutung eines negativen Elevationswinkels von der Tatsache, dass postoperativ keine Schmerzen unter dem ersten MTK oder dem MTP-I-Gelenk vorhanden waren. Weiterhin konnte kein signifikanter Anstieg des Spitzendrucks unter dem medialen Vorfuß beobachtet werden (siehe unten). Grundsätzlich muss bei zu starker Plantarisierung des MT-I mit Beschwerden unter dem MTK-I gerechnet werden. Nach einer intensiven Literaturrecherche konnten hierzu keine Angaben gefunden werden.

Die Untersuchung der Ergebnisse auf Korrelationen zeigte, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Einstellung des MT-I in der sagittalen Ebene und dem

AOFAS Score besteht. Je kleiner der Elevationswinkel in dem postoperativ untersuchten Patientenkollektiv war, desto höher fiel der Punktwert im AOFAS Score aus.

Die Korrelationskoeffizienten betragen $-0,534$ (ELE) und $-0,399$ (IMA). Dies lässt auf einen deutlichen linearen Zusammenhang zwischen zunehmender Plantarflexion des MT-I und steigendem Punktwert des Scores schließen. Der Korrelationskoeffizient zwischen dem IMA und AOFAS Score zeigt in der vorliegenden Arbeit einen mäßig linearen Zusammenhang. Die Differenz von $1,8^\circ$ beim IMA zwischen Gruppe 1 und 2 kann eine zusätzliche Rolle im klinischen Ergebnis spielen und somit den AOFAS Score beeinflussen. Dietze et al. fanden beispielsweise bei einer radiokinematischen und pedografischen Analyse von acht HV Patienten eine hohe signifikante Korrelation zwischen dem IMA und dem AOFAS Forefoot Score heraus. Deren Berechnung des Pearson-Koeffizienten ergab eine umgekehrt proportionale Abhängigkeit von $r = -0,73$ (Dietze et al. 2013). Dieses Resultat legt nahe, dass dieser Unterschied zwischen den Gruppen eine zusätzliche Rolle im klinischen Outcome spielt. Jedoch beruhen die Ergebnisse auf Berechnungen mit einer geringen Anzahl an Patienten und zeigen somit lediglich Anhaltspunkte auf, die in weiterführenden klinischen Studien belegt werden müssen.

Die Ergebnisse der pedobarografischen Untersuchung erlauben Rückschlüsse auf die postoperative Druckverteilung. Wenige Arbeiten haben sich bisher mit den pedobarografischen Ergebnissen nach TMT-I-Korrekturarthrodesen zur HV-Korrektur beschäftigt. Die intensive Literaturrecherche ergab keine Arbeiten zu pedobarografischen Ergebnissen nach TMT-I-Arthrodese mit plantarer Plattenosteosynthese.

Die pathologische Druckverteilung bei der HV Deformität im Vergleich zu Kontrollgruppen ist hingegen gut erforscht (Yamamoto et al. 1996; Waldecker 2002; Kernozek et al. 2003; Waldecker 2004). Waldecker fand heraus, dass die Erkrankung mit einem medio-lateralen Belastungstransfer im Vorfußbereich vergesellschaftet ist, welcher sich durch eine sinkende Belastung unter dem Großzeh und eine steigende unter den lateralen Metatarsalen charakterisiert. Gleichzeitig wird angenommen, dass der Druck und die Dauer des Druckes für die Entstehung der Schmerzen verantwortlich sind. Des Weiteren trägt die Hypermobilität im TMT-I-Gelenk entscheidend zu dem Belastungstransfer nach lateral bei. Ferner ist die Druckverteilung im Vorfuß abhängig von der Stellung des Rückfußes. Eine valgische Fehlstellung verursacht eine Instabilität der medialen Säule und ist oft mit einem HV assoziiert. Waldecker postulierte, dass die Druckverteilung nicht mit den radiologischen Parameter wie den HVA oder den IMA

korreliert. Vielmehr ist es ein Zusammenspiel aller Faktoren wie Stellung des Rückfußes, Instabilität des TMT-I-Gelenks, radiologische Parameter und die Suffizienz der Plantaraponeurose, welches für die pathologische Kräfteverteilung verantwortlich ist (Waldecker 2004). In dieser Arbeit sind postoperativ ebenfalls keine Korrelationen zwischen den Parametern der Pedobarografie und dem HVA sowie dem IMA aufgetreten.

In der vorliegenden Arbeit wurde u.a. der Einfluss der TMT-I-Arthrodesese auf die plantare Druckverteilung des Fußes sowie der Zusammenhang zwischen den pedobarografischen Parametern, dem AOFAS Score und den radiologischen Daten untersucht. Es wurden alle Regionen des Fußes berücksichtigt und sowohl druck- als auch kraftspezifische Parameter erhoben. Die kontroversen pedobarografischen Ergebnisse und Schlussfolgerungen gestalten die Vergleiche unter den Studien als schwierig. Verschiedene Messmethoden, unterschiedliche Untersuchungszeitpunkte sowie ungleiches Patientengut tragen dazu bei.

In einer weiteren pedografischen Studie verglich Waldecker Hallux valgus Patienten unter dem Gesichtspunkt der Metatarsalgie. Sie teilte die Kohorte in zwei Gruppen auf, wobei eine Gruppe (A) unter Transfermetatarsalgie litt und die zweite (B) keine Schmerzen aufwies. Es wurden alle Patienten von der Studie ausgeschlossen, welche an einer Rückfußdeformität litten und andere Erkrankungen aufwiesen, die eine Transfermetatarsalgie bedingen könnten. Es stellte sich heraus, dass Gruppe A signifikant höhere Spitzendrücke und ein höheres Druck-Zeit-Integral im lateralen Vorfußbereich aufwies und somit einen größeren mediolateralen Drucktransfer aufzeigte (Waldecker 2002). In der vorliegenden Arbeit konnte aufgrund der zu geringen Anzahl des Patientenkollektivs diese Fragestellung nicht bearbeitet werden. Kernozek et al. verglichen 40 HV Patienten mit 51 fußgesunden Studienteilnehmern und kamen zu dem Ergebnis, dass der Impuls unter dem zentralen Vorfuß bei den Patienten signifikant höher war als in der gesunden Vergleichsgruppe. Zusätzlich war dieser, ebenso wie die Spitzendrücke, unter der Großzehe deutlich erhöht (Kernozek et al. 2003).

Kernozek et al. verglichen in einer klinischen Studie unter anderem prä- und postoperative pedobarografische Daten nach einer Chevron Osteotomie. Acht Wochen postoperativ persistierte der laterale Shift der Belastung mit weiterhin hohen Druckwerten (Kraft-Zeit-Integral, Druck-Zeit-Integral und Kraftmaximum) unter dem lateralen Vorfuß. Diese unerwarteten Aussagen sind wohl auf eine zu kurze Rehabilitationszeit der Patienten zurückzuführen und ggf. mit einer Schonung des Operationsgebietes zu begründen. Der Autor merkte an, dass weitere Studien folgen

müssen um die Langzeitergebnisse des Verfahrens beurteilen zu können (Kernozeck et al. 1997). Borton et al. stellten eine Studie mit 32 Probanden vor, bei denen die pedografische Untersuchung sechs Monate nach einer Chevron Osteotomie erfolgte. Sie beobachteten, dass die gesamte Kontaktfläche des Fußes zugenommen hat und die Belastung sich vom MTK-III zum MTK-I verlagerte (Borton und Stephens 1994). Eine weitere Kontrollstudie zu diesem Operationsverfahren präsentierte Kernozeck et al. 2002. Es wurde 12 Monate postoperativ eine erhöhte Belastung im zentralen Vorfußbereich und eine Reduzierung der Belastung unter der Großzehe festgestellt. Der Autor sieht in der verwendeten Zwei-Schritt-Messmethode die Ursache für diese Ergebnisse. Die übrigen Regionen blieben unverändert (Kernozeck und Sterriker 2002). In der vorliegenden Studie fand die postoperative pedobarografische Untersuchung 12 Monate nach dem Eingriff statt und die Messung erfolgte im freien Gang nach einer Gehstrecke von ca. vier Meter.

Andere pedografische Untersuchungen wurden nach einer Scarf-Osteotomie veröffentlicht. Jones et al. untersuchten 30 operierte Füße auf prä- und postoperative Unterschiede in der Region des ersten und zweiten Metatarsale. Die Evaluation erfolgte mindestens ein Jahr nach dem Eingriff und zeigte, dass sich unter dem MT-II der Spitzendruck nicht veränderte und unter dem MT-I verringerte, jedoch nicht signifikant. Allerdings wurde nur der Spitzendruck in den zwei besagten Arealen erhoben und andere Parameter und Regionen außer Acht gelassen (Jones et al. 2004). Buchner et al. benutzten hingegen eine mobile Messplatte, welche als Sohle im Schuh direkt am Fuß getragen wurde. Somit ist der Vergleich mit anderen Arbeiten wiederum erschwert, da in den meisten Studien, wie auch in der vorliegenden, in den Boden festverankerte Messsysteme benutzt werden. Es stellte sich heraus, dass alle Bereiche im Vorfuß, somit auch das Areal unter dem MT-I, sowie die Regionen der Ferse und des Mittelfußes eine Erhöhung des maximalen Mitteldrucks aufzeigten. Diese Veränderungen wurden als erfolgreiche Annäherungen an die physiologischen Druckverhältnisse gesehen (Buchner et al. 2005). In der vorliegenden Arbeit unterschied sich die Belastung in der Fersenregion jedoch nicht. Kein Parameter der Fersenregion hat sich postoperativ signifikant verändert. Als mögliche Erklärung der konstant bleibenden Druckverteilung kann eine furchtlose und routinemäßige Belastung des Fußes während des Gangbildes dienen. Die Patienten schienen unter gleichen Voraussetzungen bei den prä- und postoperativen Untersuchungen aufgetreten zu sein. In der Literatur wurde dieser Zusammenhang bislang nicht diskutiert. Buchner et al. betont zudem, dass zum ersten Mal eine mediale Lastenaufnahme nach einer Vorfußosteotomie gezeigt werden konnte. Zusätzlich spricht er sich für den Parameter des maximalen Mitteldrucks aus, welcher

früher eine Änderung des Druckes erkennen lässt als beispielsweise der Spitzendruck (Buchner et al. 2005). Zu ähnlichen Erkenntnissen sind auch Lorei et al. gelangt. Sie zeigten bei 32 Patienten nach einer Scarf-Osteotomie eine Reduzierung des Impulses und der Maximalkraft unter dem lateralen Vorfuß ebenso wie eine Steigerung der Parameter unter dem medialen Vorfuß und der Großzehe. Sie sprachen sich für den Impuls als treffendsten Parameter aus, da dieser die einwirkende Kraft über die Zeit widerspiegelt und somit klinisch relevante Hinweise über die Belastung geben kann (Lorei et al. 2006). In der vorliegenden Studie nahm die Belastung unter dem ersten Metatarsale ebenfalls zu. Alle erhobenen Parameter stiegen signifikant an. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den Daten von Buchner et al. und Lorei et al. (Buchner et al. 2005)(Lorei et al. 2006). Der Autor weist wie Lorei et al. dem Impuls die höchste Aussagekraft zu, da dieser die gesamte Krafteinwirkung über die Zeit widerspiegelt (Impuls = Kraft-Zeit-Integral) und nicht nur die höchste Amplitude der Belastung anzeigt (Lorei et al. 2006). Die Einheit des Impulses und Kraftmaximums ist in Relation zum Patientenkörpergewicht und nicht in der SI-Einheit [N] angegeben (Waldecker 2004). Der Einfluss des BMIs der Patienten auf die Resultate soll dadurch auf ein Minimum reduziert werden. Die Ergebnisse deuten auf eine Verteilung der Belastung nach medial und eine Zunahme der Rolle des ersten Strahls bei der Abrollbewegung hin. Zusätzlich stellte sich heraus, dass der Impuls und der Spitzendruck an der Großzehe signifikant abnahmen. Das Kraftmaximum blieb nahezu unverändert. In der Literatur ist jedoch überwiegend eine Zunahme der Belastung in diesem Bereich beschrieben. Lediglich Kernozek et al. und Mittal et al. stellten ebenfalls eine Verringerung des Spitzendrucks unter der Großzehe fest (Kernozek und Sterriker 2002; Mittal et al. 2006). Der Autor interpretiert dieses Ergebnis als ein verbessertes Abrollverhalten durch die Reposition des MTP-I-Gelenks und dadurch sinkende Drücke unter der Großzehe.

Um die Relevanz der Elevation bei der plantaren Druckverteilung zu überprüfen, wurden alle operierten Füße entsprechend den postoperativen Elevationswinkeln in Gruppen eingeteilt. Die Gruppe mit einem Elevationswinkel kleiner 0° wies postoperativ eine deutlich höhere Beanspruchung des medialen Vorfußes auf als die Vergleichsgruppe. Signifikante Änderungen von Impuls und Kraftmaximum sprechen für eine Abhängigkeit der medialen Belastung von der Elevation des MT-I. Die Berechnung des Pearson-Korrelationskoeffizienten zeigte dennoch keine Zusammenhänge zwischen den radiologischen Winkeln und den pedobarografischen Parametern. Dies lässt sich mutmaßlich auf die geringe Patientenzahl zurückführen. Wurde hingegen die Relation zwischen Pedobarografie und dem postoperativen AOFAS Score überprüft, so bestanden signifikante Zusammenhänge. Die Bereiche der Ferse, des medialen und des

zentralen Vorfußes zeigten lineare Zusammenhänge zwischen dem Kraftmaximum und dem AOFAS Score. Je höher die Kraft unter dem ersten bzw. zweiten und dritten Metatarsale ist, umso mehr Punkte im AOFAS Score wurden erreicht. Die Pearson-Koeffizienten zwischen diesen Parametern sind nicht hoch ($r_{\text{medVorfuß}} = 0,388$; $r_{\text{centrVorfuß}} = 0,416$), dennoch deuten sie auf einen Zusammenhang hin. Bei der Betrachtung des Parameters Impuls korrelierte lediglich der Bereich des Mittelfußes signifikant mit dem AOFAS Score ($r = -0,465$). Ebenso ergibt sich eine Signifikanz des Spitzendrucks in diesem Bereich mit einem Koeffizienten von $r = -0,436$. Dieser zeigt, dass der Punktwert im AOFAS Score umso höher ist, je geringer die Belastung im Mittelfuß ausfällt. Darüber hinaus liegen keine weiteren signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Spitzendruck und dem AOFAS Score vor.

Letztlich sind nach einer modifizierten Lapidus-Arthrodese mit distaler Weichteilprozedur Veränderungen der plantaren Druck- und Kraftverteilung zu beobachten. Es konnte die postoperative Zunahme der Lastenaufnahme unter dem medialen Vorfuß und ihre Abhängigkeit von der Einstellung des MT-I in der sagittalen Ebene gezeigt werden. Durch die gleichbleibenden Drücke und Kräfte unter den MT-II und MT-III besteht möglicherweise eine relative Entlastung dieser Region, welches die Aufhebung der Transfermetatarsalgie erklären könnte. Die Spitzendrücke stiegen sowohl unter dem MT-I als auch unter den MT-IV und MT-V signifikant an. Einzig in der Region des zentralen Vorfußes gab es keine signifikante Änderung, was die Vermutung der relativen Reduktion der Belastung bekräftigen würde.

Die vorliegende Studie weist einige Einschränkungen auf. Die geringe Fallzahl lässt keine endgültigen Aussagen zu, sodass die präsentierten Ergebnisse als Hinweise gedeutet werden müssen. Weitere Arbeiten mit einem größeren Patientenkollektiv und randomisierten Gruppen sind erforderlich um diese Zusammenhänge zu untermauern. Die vorliegenden Resultate müssen weiterhin als mittelfristig eingestuft werden.

Eine Problematik bei der pedobarografischen Messung ist die unterschiedliche Ganggeschwindigkeit der Patienten. Rosenbaum et al. haben gezeigt, dass sich bei einer höheren Geschwindigkeit das Druckverteilungsmuster ändert. Spitzendruck und Impuls nehmen unter dem medialen Vorfuß zu und unter dem lateralen Vorfuß ab (Rosenbaum et al. 1994). Den Patienten wurde eine ihnen angenehme Ganggeschwindigkeit empfohlen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass die Ganggeschwindigkeit postoperativ höher war. Ein standardisiertes Tempo unter allen Patienten ist aufgrund der unterschiedlichen Konstitutionen nicht durchführbar. Zusätzlich wäre dadurch das persönliche Gangbild verändert. In der pedobarografischen

Auswertung ist weiterhin die computertechnisch an den Abdruck modellierte Fußmaske mit der Zoneneinteilung zu beachten. Bei einem stark deformierten Fuß kam es zu Fehlern der Zuordnung, welche manuell behoben werden mussten. Außerdem ist eine genaue Trennung von den einzelnen Regionen nicht mit hundertprozentiger Korrektheit gegeben. Dennoch gestaltet sich die Aufteilung des Vorfußes in medial, zentral und lateral als treffend und zielführend. Im Zuge dessen sind einheitliche Unterteilungen und Parameter für die Pedobarografie wünschenswert. Nur dann können aus der Literatur Rückschlüsse auf eigene Ergebnisse gezogen werden.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen einer prospektiven klinischen Studie wurden die mittelfristigen klinischen, radiologischen und pedobarografischen Ergebnisse nach einer modifizierten Lapidus-Arthrodesese bei einem mittleren bis schweren Hallux Valgus analysiert.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich auf 12 Monate post operationem. Es wurden 28 Patienten nach Evaluation der Ein- und Ausschlusskriterien in diese Arbeit eingeschlossen. Zwei Patienten erhielten an beiden Füßen eine Korrektur. Die Behandlung erfolgte am DOUW der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Zu Beginn wurden eine verzögerte Knochenheilung, Pseudarthrosen, Materialkonflikte, Metatarsalgien und eine persistierende Elevation des MT-I als unerwünschte Ereignisse der Therapie definiert. Nach der präoperativen klinischen Untersuchung sowie der Bestimmung des HVA, des IMA und der Elevation des MT-I erfolgte eine Re-Evaluation der Werte postoperativ nach sechs Wochen, drei Monaten, sechs Monaten sowie nach einem Jahr. Des Weiteren erfolgte eine Messung der plantaren Druckverteilung mit Hilfe einer dynamischen Pedobarografie. Es wurden der Impuls, das Kraftmaximum und der Spitzendruck von sieben definierten Bereichen des Fußes gemessen. Das klinische Ergebnis wurde unter Zuhilfenahme des AOFAS Scores prä- und postoperativ evaluiert. Als Implantat kam eine plantare Plattenosteosynthese mit einer interfragmentären Zugschraube zum Einsatz. Die Mobilisierung der Patienten erfolgte unmittelbar nach der Operation in einem Arthrodeseschuh mit Vollbelastung.

Von den im Vorfeld definierten unerwünschten Ereignissen sind lediglich drei Wundheilungsstörungen und zwei Materialkonflikte aufgetreten. Im Verlauf stellten sich trotz sofortiger postoperativer Vollbelastung keine Pseudarthrosen oder Transfermetatarsalgien dar. In der postoperativen Auswertung war eine signifikante Verbesserung des AOFAS Scores zu sehen. Die radiologische Auswertung zeigte ebenfalls eine signifikante Verbesserung des HVA, des IMA und der Elevation des MT-I. Die erzielten Resultate stimmen mit den in der Literatur nach TMT-I-Arthrodesen beschriebenen Ergebnissen überein. In einem Vergleich zwischen den Studienteilnehmern stellte sich heraus, dass Patienten mit einer korrigierten Einstellung des MT-I in der sagittalen Ebene einen signifikant höheren postoperativen AOFAS Score aufwiesen als Patienten, bei denen eine persistierende Elevation bestand. Es konnte eine umgekehrt proportionale Abhängigkeit des AOFAS Scores von der sagittalen Einstellung des MT-I gezeigt werden. Weiterhin können Transfermetatarsalgien ohne zusätzliche Eingriffe an den lateralen MTP-Gelenken behandelt werden, wenn keine strukturellen Veränderungen an diesen vorhanden sind. Die Evaluation der

pedobarografischen Untersuchungen ergab eine signifikante postoperative Lastenzunahme unter dem medialen Vorfuß und eine Reduzierung der Belastung unter der Großzehe. Ferner konnte ein Zusammenhang zwischen der medialen Lastenaufnahme und der Elevation des MT-I gezeigt werden. Je höher die postoperative Plantarflexion des MT-I, desto höher das Kraftmaximum unter dem medialen Vorfuß. Aufgrund des postoperativ gestiegenen Spitzendrucks sowohl unter dem medialen als auch lateralen, jedoch nicht unter dem zentralen Vorfuß konnte eine relative Belastungsreduzierung unter dem MT-II und III diskutiert werden. Dies könnte eine mögliche Ursache für behobene Transfermetatarsalgien sein. Weiterführende prospektive Studien mit einem größeren Patientenkollektiv und randomisierten Gruppen sind notwendig um diese Zusammenhänge zu untermauern.

Die sehr guten Ergebnisse bestätigen die Verwendung der modifizierten Lapidus-Arthrodesse als Standardverfahren zur Therapie eines mittleren bis schweren Hallux Valgus.

Literatur

- Adams PF, Hendershot GE, Marano MA (1999) Current estimates from the National Health Interview Survey, 1996. National Center for Health Statistics. *Vital Health Stat* 10: 1–203.
- Albrecht GA (1911) Zur Pathologie und Therapie des Hallux valgus. *Russki Wratsch*:14–19.
- Arnold H (2008) Die Korrektur des Hallux valgus interphalangeus durch Closing-Wedge-Osteotomie nach Akin. *Oper Orthop Traumatol* 20:477–483. doi:10.1007/s00064-008-1503-8.
- Augoyard R, Largey A, Munoz M, Canovas F (2013) Efficacy of first metatarsophalangeal joint lateral release in hallux valgus surgery. *Orthop Traumatol Surg Res* 99:425–431. doi:10.1016/j.otsr.2013.01.009.
- Bascarević ZL, Vukasinović ZS, Bascarević VD, Stevanović VB, Spasovski DV, Jančić RR (2011) Hallux valgus. *Acta Chir Iugosl* 58:107–111.
- Bednarz PA, Manoli A (2000) Modified lapidus procedure for the treatment of hypermobile hallux valgus. *Foot & ankle international* 21:816–821.
- Blitz NM, Lee T, Williams K, Barkan H, DiDimenico LA (2010) Early weight bearing after modified lapidus arthrodesis: a multicenter review of 80 cases. *The Journal of foot and ankle surgery: official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 49:357–362. doi:10.1053/j.jfas.2010.04.014.
- Boebel RA, Wolff K (1960) [On the relation between the length of the big toe and hallux valgus. A contribution to the etiology of hallux valgus]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 92:254–259.
- Borton DC, Stephens MM (1994) Basal metatarsal osteotomy for hallux valgus. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 76:204–209.
- Brodsky JW, Beischer AD, Robinson, Andrew H N, Westra S, Negrine JP, Shabat S (2006) Surgery for hallux valgus with proximal crescentic osteotomy causes variable postoperative pressure patterns. *Clinical orthopaedics and related research* 443:280–286. doi:10.1097/01.blo.0000191269.50033.ec.
- Buchner M, Schulze A, Zeifang F, Sabo D (2005) Druckverteilungsmessung nach Scarf-Osteotomie bei Hallux valgus. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 143:233–239. doi:10.1055/s-2005-836517.

- Catanzariti AR, Mendicino RW, Lee MS, Gallina MR (1999) The modified lapidus arthrodesis: A retrospective analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 38:322–332. doi:10.1016/S1067-2516(99)80003-9.
- Coetzee JC, Wickum D (2004) The Lapidus procedure: a prospective cohort outcome study. *Foot Ankle Int* 25:526–531.
- Cottom JM, Vora AM (2013) Fixation of lapidus arthrodesis with a plantar interfragmentary screw and medial locking plate: a report of 88 cases. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 52:465–469. doi:10.1053/j.jfas.2013.02.013.
- Cottom JM (2012) Fixation of the Lapidus arthrodesis with a plantar interfragmentary screw and medial low profile locking plate. *J Foot Ankle Surg* 51:517–522. doi:10.1053/j.jfas.2012.04.008.
- Coughlin MJ, Grimes S (2005) Proximal metatarsal osteotomy and distal soft tissue reconstruction as treatment for hallux valgus deformity. *Keio J Med* 54:60–65.
- Coughlin MJ, Jones CP (2007) Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int* 28:759–777. doi:10.3113/FAI.2007.0759.
- Craigmile DA (1953) Incidence, origin, and prevention of certain foot defects. *Br Med J* 2:749–752.
- Day T, Charlton TP, Thordarson DB (2011) First Metatarsal Length Change After Basilar Closing Wedge Osteotomy for Hallux Valgus. *Foot Ankle Int* 32:513–518. doi:10.3113/FAI.2011.0513.
- DeVries JG, Granata JD, Hyer CF (2011) Fixation of First Tarsometatarsal Arthrodesis: A Retrospective Comparative Cohort of Two Techniques. *Foot Ankle Int* 32:158–162. doi:10.3113/FAI.2011.0158.
- Dietze A, Bahlke U, Martin H, Mittlmeier T (2013) First ray instability in hallux valgus deformity: a radiokinematic and pedobarographic analysis. *Foot & ankle international* 34:124–130. doi:10.1177/1071100712460217.
- Dohle J (2012a) Klinische Untersuchung; Stabilitätsbeurteilung 1. Strahl. In: Sabo D (Hrsg) *Vorfußchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 24–25.
- Dohle J (2012b) Pathoanatomie des Vorfußes; Zusammenhang Rückfuß Vorfuß. In: Sabo D (Hrsg) *Vorfußchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 20.

- Easley ME, Trnka H (2007) Current concepts review: hallux valgus part 1: pathomechanics, clinical assessment, and nonoperative management. *Foot Ankle Int* 28:654–659. doi:10.3113/FAI.2007.0654.
- Ewald P (1912) Die Ätiologie des Hallux Valgus. *Dtsch. Ztschr. Chir.*:90–103.
- Fuhrmann RA (2005) Die Korrekturarthrodese des ersten Tarsometatarsalgelenks zur Behandlung des fortgeschrittenen Spreizfußes mit Halluxvalgus-Fehlstellung. *Orthop Traumatol* 17:195–210. doi:10.1007/s00064-005-1129-z.
- Grace D, Delmonte R, Catanzariti AR, Hofbauer M (1999) Modified lapidus arthrodesis for adolescent hallux abducto valgus. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 38:8–13. doi:10.1016/S1067-2516(99)80082-9.
- Groiso JA (1992) Juvenile hallux valgus. A conservative approach to treatment. *J Bone Joint Surg Am* 74:1367–1374.
- Guttek N, Wohlrab D, Zeh A, Radetzki F, Delank K, Lebek S (2013) Comparative study of Lapidus bunionectomy using different osteosynthesis methods. *Foot Ankle Surg* 19:218–221. doi:10.1016/j.fas.2013.05.002.
- Guyton GP (2001) Theoretical limitations of the AOFAS scoring systems: an analysis using Monte Carlo modeling. *Foot & ankle international* 22:779–787.
- Haines RW, McDougall A (1954) The anatomy of hallux valgus. *J Bone Joint Surg Br* 36-B:272–293.
- Hardy RH, Clapham, J C R (1951) Observations on hallux valgus; based on a controlled series. *J Bone Joint Surg Br* 33-B:376–391.
- Hofstaetter SG, Hofstaetter JG, Petroutsas JA, Gruber F, Ritschl P, Trnka H (2005) The Weil osteotomy: a seven-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 87:1507–1511. doi:10.1302/0301-620X.87B11.16590.
- Jerosch J, Heisel J, Greitemann B (Hrsg) (2009) Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk; Fußchirurgie in Klinik und Praxis ; mit 12 Tabellen. Dt. Ärzte-Verl., Köln.
- Johnston O (1956) Further studies of the inheritance of hand and foot anomalies. *Clin Orthop* 8:146–160.
- Jones KJ, Feiwel LA, Freedman EL, Cracchiolo A (1995) The effect of chevron osteotomy with lateral capsular release on the blood supply to the first metatarsal head. *J Bone Joint Surg Am* 77:197–204.

- Jones S, Al Hussainy, H A, Ali F, Betts RP, Flowers MJ (2004) Scarf osteotomy for hallux valgus. A prospective clinical and pedobarographic study. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 86:830–836.
- Kato T, Watanabe S (1981) The etiology of hallux valgus in Japan. *Clin. Orthop. Relat. Res.*:78–81.
- Kernozek TW, Elfessi A, Sterriker S (2003) Clinical and biomechanical risk factors of patients diagnosed with hallux valgus. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 93:97–103.
- Kernozek TW, Roehrs TD, McGarvey S (1997) Analysis of plantar loading parameters pre and post surgical intervention for hallux valgus. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 12:S18-S19.
- Kernozek TW, Sterriker SA (2002) Chevron (Austin) distal metatarsal osteotomy for hallux valgus: comparison of pre- and post-surgical characteristics. *Foot & ankle international* 23:503–508.
- Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M (1994) Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int* 15:349–353.
- Klaue K, Hansen ST, Masquelet AC (1994) Clinical, quantitative assessment of first tarsometatarsal mobility in the sagittal plane and its relation to hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int* 15:9–13.
- Klos K, Gueorguiev B, Mückley T, Fröber R, Hofmann GO, Schwieger K, Windolf M (2010) Stability of medial locking plate and compression screw versus two crossed screws for larpus arthrodesis. *Foot & ankle international* 31:158–163. doi:10.3113/FAI.2010.0157.
- Klos K, Simons P, Hajduk A, Hoffmeier KL, Gras F, Fröber R, Hofmann GO, Mückley T (2011) Plantar Versus Dorsomedial Locked Plating for Larpus Arthrodesis: A Biomechanical Comparison. *Foot Ankle Int* 32:1081–1085. doi:10.3113/FAI.2011.1081.
- Klos K, Wilde CH, Lange A, Wagner A, Gras F, Skulev HK, Mückley T, Simons P (2013) Modified Larpus arthrodesis with plantar plate and compression screw for treatment of hallux valgus with hypermobility of the first ray: A preliminary report. *Foot and Ankle Surgery* 19:239–244. doi:10.1016/j.fas.2013.06.003.
- Kopp FJ, Patel MM, Levine DS, Deland JT (2005) The modified Larpus procedure for hallux valgus: a clinical and radiographic analysis. *Foot & ankle international* 26:913–917.

- Kostuj T, Schaper K, Baums MH, Lieske S (2014) Eine Validierung des AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale für den deutschen Sprachraum. *Fuß & Sprunggelenk* 12:100–106. doi:10.1016/j.fuspru.2014.02.002.
- Lapidus PW (1960) The author's bunion operation from 1931 to 1959. *Clin Orthop* 16:119–135.
- Lee KM, Ahn S, Chung CY, Sung KH, Park MS (2012) Reliability and Relationship of Radiographic Measurements in Hallux Valgus. *Clin Orthop Relat Res* 470:2613–2621. doi:10.1007/s11999-012-2368-6.
- Lindsey JM, Michelson JD, MacWilliams BA, Sponseller PD, Miller NH (1998) The foot in Marfan syndrome: clinical findings and weight-distribution patterns. *Journal of pediatric orthopedics* 18:755–759.
- Lorei TJ, Kinast C, Klärner H, Rosenbaum D (2006) Pedographic, clinical, and functional outcome after scarf osteotomy. *Clinical orthopaedics and related research* 451:161–166. doi:10.1097/01.blo.0000229297.29345.09.
- Mann RA, Pfeffinger L (1991) Hallux valgus repair. DuVries modified McBride procedure. *Clin. Orthop. Relat. Res.*:213–218.
- Menke CRD, McGlamry MC, Camasta CA (2011) Lapidus Arthrodesis with a Single Lag Screw and a Locking H-Plate. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 50:377–382. doi:10.1053/j.jfas.2011.03.009.
- Mittal D, Raja S, Geary, N P J (2006) The modified McBride procedure: clinical, radiological, and pedobarographic evaluations. *The Journal of foot and ankle surgery: official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 45:235–239. doi:10.1053/j.jfas.2006.04.001.
- Morton DJ (1935) *The human foot*. Columbia University Press, New York.
- Mote GA, Yarmel D, Treaster A (2009) First Metatarsal-Cuneiform Arthrodesis for the Treatment of First Ray Pathology: A Technical Guide. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 48:593–601. doi:10.1053/j.jfas.2009.05.009.
- Myerson M, Allon S, McGarvey W (1992) Metatarsocuneiform arthrodesis for management of hallux valgus and metatarsus primus varus. *Foot & ankle* 13:107–115.
- Myerson MS, Badekas A (2000) Hypermobility of the first ray. *Foot and ankle clinics* 5:469–484.
- Neylon TA, Johnson BA, Laroche RA (2001) Use of the lapidus bunionectionomy in first ray insufficiency. *Clin Podiatr Med Surg* 18:365–375.

- Nguyen, U-S D T, Hillstrom HJ, Li W, Dufour AB, Kiel DP, Procter-Gray E, Gagnon MM, Hannan MT (2010) Factors associated with hallux valgus in a population-based study of older women and men: the MOBILIZE Boston Study. *Osteoarthr. Cartil.* 18:41–46. doi:10.1016/j.joca.2009.07.008.
- Nix S, Smith M, Vicenzino B (2010) Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res* 3:21. doi:10.1186/1757-1146-3-21.
- Patel S, Ford LA, Etcheverry J, Rush SM, Hamilton GA (2004) Modified lapidus arthrodesis: rate of nonunion in 227 cases. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 43:37–42. doi:10.1053/j.jfas.2003.11.009.
- Reiche D (2003) Roche-Lexikon Medizin; [62.000 Stichwörter, Tabellen, 40.000 englische Übersetzungen]. Urban & Fischer, München [u.a.].
- Reiner H (1914) Zur Pathogenese des Hallux valgus. *Z. Orthop. Chir.*:549–560.
- Richter M (2010) Aktualisierte Leitlinien Fuß und Sprunggelenk. *Fuß & Sprunggelenk* 8:268–287. doi:10.1016/j.fuspru.2010.08.003.
- Richter M (2011) American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score; Vorfußstrahl 2-5 (Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte). https://www.krankenhaus-rummelsberg.de/fileadmin/bilderpool/rummelsberg/merkblaetter_richter/aofas_deutsch.pdf. Zugegriffen: 25. August 2016.
- Richter M, Seidl B, Zech S, Hahn S (2014) PedCAT for 3D-imaging in standing position allows for more accurate bone position (angle) measurement than radiographs or CT. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons* 20:201–207. doi:10.1016/j.fas.2014.04.004.
- Rink-Brüne O (2004) Lapidus arthrodesis for management of hallux valgus—a retrospective review of 106 cases. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 43:290–295. doi:10.1053/j.jfas.2004.07.007.
- Roddy E, Zhang W, Doherty M (2008) Prevalence and associations of hallux valgus in a primary care population. *Arthritis Rheum.* 59:857–862. doi:10.1002/art.23709.
- Rosenbaum D, Hautmann S, Gold M, Claes L (1994) Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture* 2:191–197. doi:10.1016/0966-6362(94)90007-8.

- Rush SM, Hamilton GA, Ackerson LM (2009) Mesenchymal stem cell allograft in revision foot and ankle surgery: a clinical and radiographic analysis. *J Foot Ankle Surg* 48:163–169. doi:10.1053/j.jfas.2008.12.008.
- Sandelin T (1924) Über Hallux valgus und die von dieser Affektion bedingte Verunstaltung des Fußes und die Behandlung. *Acta Chir Scand*:1–25.
- Sangeorzan BJ, Hansen ST (1989) Modified Lapidus procedure for hallux valgus. *Foot & ankle* 9:262–266.
- Saxena A, Nguyen A, Nelsen E (2009) Lapidus Bunionectomy: Early Evaluation of Crossed Lag Screws versus Locking Plate with Plantar Lag Screw. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 48:170–179. doi:10.1053/j.jfas.2008.12.009.
- Scarborough J (1992) Medical terminologies; Classical origins. University of Oklahoma Press, Norman.
- Schneider W (2012) Influence of different anatomical structures on distal soft tissue procedure in hallux valgus surgery. *Foot Ankle Int* 33:991–996. doi:10.3113/FAI.2012.0991.
- Schneider W (2013) Distal soft tissue procedure in hallux valgus surgery: biomechanical background and technique. *Int Orthop* 37:1669–1675. doi:10.1007/s00264-013-1959-5.
- Schneider W, Knahr K (2002) Keller procedure and chevron osteotomy in hallux valgus: five-year results of different surgical philosophies in comparable collectives. *Foot & ankle international* 23:321–329.
- Schulze B, Stern T, Schulze W, Dohle J, Hamel J (2001) Klinisch-pedographisch-radiologische Befunde nach valgisierender Basisosteotomie des Metatarsale 1--eine prospektive Studie. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 139:440–446. doi:10.1055/s-2001-17988.
- Schwarz P (2004) Die Osteotomie nach Austin - klinische und radiologische Ergebnisse nach Operation. Dissertation, München.
- Scranton PE, Coetzee JC, Carreira D (2009) Arthrodesis of the first metatarsocuneiform joint: a comparative study of fixation methods. *Foot & ankle international* 30:341–345. doi:10.3113/FAI.2009.0341.
- Shariff R, Myerson MS (2015) The Use of Osteotomy in the Management of Hallux Rigidus. *Foot and ankle clinics* 20:493–502. doi:10.1016/j.fcl.2015.05.001
- Sim-Fook L, Hodgson AR (1958) A comparison of foot forms among the non-shoe and shoe-wearing Chinese population. *J Bone Joint Surg Am* 40-A:1058–1062.

- Sorensen MD, Hyer CF, Berlet GC (2009) Results of Lapidus Arthrodesis and Locked Plating With Early Weight Bearing. *Foot & Ankle Specialist* 2:227–233. doi:10.1177/1938640009348389.
- Steinberg N, Finestone A, Noff M, Zeev A, Dar G (2013) Relationship between lower extremity alignment and hallux valgus in women. *Foot Ankle Int* 34:824–831. doi:10.1177/1071100713478407.
- Steinböck G (1993) Pathogenese des Hallux Valgus. In: Wirth CJ, Wülker N (Hrsg) *Vorfußdeformitäten. Behandlungskonzepte für Klinik und Praxis*. Springer, Berlin [u.a.], S 187–200.
- Stinus H, Weber F (2005) Einlagen bei Vorfußdeformitäten. *Orthopäde* 34:776–781. doi:10.1007/s00132-005-0829-2.
- Thomas M (2012) Operative Therapie - 1. Strahl; Die Arthrodesse des TMT-I-Gelenks. In: Sabo D (Hrsg) *Vorfußchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 80–85.
- Thomsen M (2012) Operative Therapie - 1. Strahl; Operationen am Großzehengrundlenk bei Hallux rigidus. In: Sabo D (Hrsg) *Vorfußchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 56–57.
- Torkki M, Malmivaara A, Seitsalo S, Hoikka V, Laippala P, Paavolainen P (2001) Surgery vs orthosis vs watchful waiting for hallux valgus: a randomized controlled trial. *JAMA* 285:2474–2480.
- Trnka H-, Hofstätter S (2005) Die modifizierte Lapidus-Arthrodesse. *Orthopäde* 34:735–741. doi:10.1007/s00132-005-0832-7.
- Trnka HJ, Zembsch A, Kaider A, Salzer M, Ritschl P (1997) Korrektur der hochgradigen Sesambeinluxation beim Hallux valgus durch Austin Osteotomie mit und ohne lateralem Weichteileingriff. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 135:150–156. doi:10.1055/s-2008-1039572.
- Truslow W (1925) Metatarsus primus varus or hallux valgus? *J Bone Joint Surg Am*:98–108.
- Viladot A (1973) Metatarsalgia due to biomechanical alterations of the forefoot. *Orthop. Clin. North Am.* 4:165–178.
- Viladot A (1982) Überlegungen bezüglich der operativen Behandlung des Hallux valgus und der Hammerzehen. *Orthopäde* 11:162–169.
- Viladot A (1993) Resektionsinterpositionsarthroplastik. In: Wirth CJ, Wülker N (Hrsg) *Vorfußdeformitäten. Behandlungskonzepte für Klinik und Praxis*. Springer, Berlin [u.a.], S 225–231.

- Volkman R (1856) Ueber die sogenannte Exostose der grossen Zehe. *Archiv f. pathol. Anat.* 10:297–306. doi:10.1007/BF01881753.
- Waldecker U (2002) 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* 41:300–308.
- Waldecker U (2004) Pedographic analysis of hallux valgus deformity. *Foot and Ankle Surgery* 10:121–124. doi:10.1016/j.fas.2004.03.004.
- Walther M, Simons P, Nass K, Röser A (2011) Die Arthrodese des Tarsometatarsal-I-Gelenks mit einer plantaren Zuggurtungsosteosynthese. *Orthop Traumatol* 23:52–60. doi:10.1007/s00064-010-0006-6.
- Wanivenhaus AH (2007) Fuß; Entzündliche Erkrankungen. In: Wirth C (Hrsg) *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 292 Tabellen. Thieme, Stuttgart, New York, S 767–782.
- Williams DT, Price P, Harding KG (2006) The influence of diabetes and lower limb arterial disease on cutaneous foot perfusion. *Journal of vascular surgery* 44:770–775. doi:10.1016/j.jvs.2005.06.040.
- Wingenfeld C, Abbara-Czardybon M, Arbab D, Frank D (2008) Die Cheilektomie und Operation nach Kessel-Bonney zur Behandlung des initialen Hallux rigidus. *Oper Orthop Traumatol* 20:484–491. doi:10.1007/s00064-008-1504-7.
- Wülker N (1997a) Hallux valgus. *Orthopäde* 26:654–664.
- Wülker N (1997b) Hallux valgus - Hallux rigidus. F. Enke, Stuttgart.
- Wülker N, Mittag F (2012) The treatment of hallux valgus. *Dtsch Arztebl Int* 109:857-67; quiz 868. doi:10.3238/arztebl.2012.0857.
- Wünschel M (2011) Misserfolge nach Arthrodesen am Fuß. *Orthopäde* 40:407–414. doi:10.1007/s00132-010-1723-0.
- Yamamoto H, Muneta T, Asahina S, Furuya K (1996) Forefoot pressures during walking in feet afflicted with hallux valgus. *Clinical orthopaedics and related research*:247–253.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich wahrheitsgemäß, die vorliegende Dissertation

Modifizierte Lapidusarthrodese mit plantarer Plattenosteosynthese und interfragmentärer Kompressionsschraube: Eine klinische, radiologische und pedobarografische Analyse

selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt zu haben.

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich wahrheitsgemäß, die vorliegende Dissertation

Modifizierte Lapidusarthrodese mit plantarer Plattenosteosynthese und interfragmentärer Kompressionsschraube: Eine klinische, radiologische und pedobarografische Analyse

Zur Erlangung des akademischen Grades doctor medicinae (Dr. med.) erstmalig einzureichen.

Es liegt nur dieser Antrag auf Eröffnung eines Promotionsverfahrens vor.

Danksagung

Die vorliegende Promotionsarbeit entstand am Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg unter der Leitung von Herrn **Prof. Dr. med. habil. K. S. Delank**, dem ich für die Möglichkeit zur Durchführung danke.

Mein besonderer Dank gilt Frau **PD Dr. med. N. Gutteck** für die Bereitstellung des Themas und der herausragende fachlichen und menschlichen Betreuung dieser Arbeit. Weiterhin haben ihr Engagement sowie ihre tagtägliche Erreichbarkeit im großen Maße zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Danken möchte ich Herrn **Matti Panian** für die tägliche Arbeit im Ganglabor und die Durchführung der pedobarografischen Untersuchungen.

Bedanken möchte ich mich weiterhin bei allen Patienten, die ihr Einverständnis zur dieser Studie gaben und damit den Grundstein für die Durchführung der Arbeit legten.

Schließlich danke ich von ganzem Herzen meinen Eltern, die mich seit jeher tatkräftig unterstützen und mir ein sorgenfreies Studium ermöglicht haben.