

Aus der Medizinischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen eingereicht
von Priv.-Doz. Dr. med. M. H. Baums

**Die subtalare Arthrorise mit dem Vario
Subtalar System® zur Therapie des
symptomatischen, juvenilen Knickplattfußes
– eine radiologische und klinische
Nachuntersuchungsstudie**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Christian Vehn

aus

Brunsbüttel

Göttingen 2022

Die vorliegende Dissertation wurde in der Aukammklinik in Wiesbaden und im St. Elisabeth-Krankenhaus in Dorsten im Zeitraum von Januar 2016 bis Juni 2021 unter der Betreuung durch Herrn Priv.-Doz. Dr. med. M. H. Baums angefertigt.

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer: Priv.-Doz. Dr. med. M. H. Baums

Ko-Betreuer: Priv.-Doz. Dr. med. F. B. Freimann

Prüfungskommission

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. M. H. Baums

Ko-Referent/in: Prof. Dr. med. A. Hell

Drittreferent/in: Prof. Dr. med. R. Dressel

Datum der mündlichen Prüfung: 10.01.2023

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System® zur Therapie des symptomatischen, juvenilen Knickplattfußes – eine radiologische und klinische Nachuntersuchungsstudie" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 09.01.2022

.....

(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden teilweise publiziert:

Vehn C, Preis M, Lehmann W, Baums M (2021): Die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] - eine radiologische Nachuntersuchungsstudie. Postervortrag auf der 26. Jahrestagung der Deutschen Assoziation Fuß und Sprunggelenk e.V. (D.A.F.)

Nominierung für den Posterpreis der Deutschen Assoziation Fuß und Sprunggelenk e.V.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Die physiologische Entwicklung des wachsenden Fußes	1
1.2 Der pathologische juvenile Knickplattfuß	2
1.3 Der primäre idiopathische flexible Knickplattfuß	3
1.3.1 Epidemiologie.....	5
1.3.2 Ätiologie	5
1.3.3 Klinische und apparative Untersuchung	7
1.3.4 Klassifikation	11
1.3.5 Therapie.....	13
1.4 Die subtalare Arthrorise.....	15
1.5 Fragestellung.....	18
1.6 Arbeitshypothesen	19
1.6.1 Arbeitshypothese I.....	19
1.6.2 Arbeitshypothese II	19
1.6.3 Arbeitshypothese III.....	19
1.6.4 Arbeitshypothese IV	19
1.6.5 Arbeitshypothese V	20
2 Material und Methoden	21
2.1 Einschlusskriterien.....	21
2.2 Patientenakten und Methodik der Datenerhebung	21
2.3 Behandlungsdokumentation und Untersuchungszeitpunkte	22
2.4 Dokumentation mit der AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale	23
2.5 Dokumentation von Komplikationen	25
2.6 Übersichtsradiographie und Winkelbestimmung.....	26
2.6.1 Radiologische Einstelltechnik	27
2.6.2 Bildauswertung.....	28
2.6.3 Calcaneusneigungswinkel.....	28
2.6.4 Talusbasisreferenzwinkel	30
2.6.5 Talocalcaneärer Winkel	31
2.6.6 Dokumentation der Messwerte.....	33
2.7 Das Vario Subtalar System®	33
2.8 Die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System®	35
2.8.1 Operationstechnik.....	35
2.8.2 Postoperative Nachbehandlung.....	38
2.9 Statistische Auswertung	38
2.9.1 Untersuchungen zu den Daten aus der Patientenakte	38
2.9.2 Untersuchungen zu den Winkelmessungen.....	39
2.9.3 Untersuchung der Ergebnisse der AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale	41

3	Ergebnisse	43
3.1	Auswertung des eingeschlossenen Patientenkollektives	43
3.2	Auswertung der Zeitintervalle.....	45
3.3	Auswertung der verwendeten Implantatgrößen.....	46
3.4	Auswertung der Reliabilität der Winkelmessungen	47
3.4.1	<i>Intrarater</i> -Reliabilität.....	47
3.4.2	<i>Interrater</i> -Reliabilität	47
3.5	Auswertung der Winkelmessungen	48
3.5.1	Calcaneusneigungswinkel.....	48
3.5.2	Talusbasisreferenzwinkel	51
3.5.3	Talocalcanealwinkel.....	53
3.6	Auswertung der Untersuchung und Befragung mit der AOFAS- <i>Ankle-Hindfoot-Scale</i> ..	57
3.7	Auswertung der Komplikationen	61
3.7.1	Intraoperative Komplikationen	61
3.7.2	Komplikationen im postoperativen Beobachtungszeitraum.....	61
4	Diskussion	63
4.1	Arbeitshypothese I und II	63
4.1.1	Untersuchung der <i>Intrarater</i> - und <i>Interrater</i> -Reliabilität	64
4.1.2	Untersuchung der Stellungskorrektur durch die subtalare Arthrorise.....	65
4.2	Arbeitshypothese III und IV	75
4.2.1	Erster Teil der AOFAS-AHS – Fragen an den Patienten	78
4.2.2	Zweiter Teil der AOFAS-AHS - Untersuchungsbefunde	84
4.3	Arbeitshypothese V	92
4.3.1	Fehleranalyse - Morphologisch und radiologisch unzureichende Korrektur	93
4.3.2	Fehleranalyse - Prolongierte Schmerzen am Sinus tarsi und peroneale Spasmen	98
4.3.3	Fehleranalyse - Persistierende Schmerzen am Sinus tarsi.....	100
4.3.4	Fehleranalyse - Spontane Dislokation des Implantates.....	101
4.3.5	Fehleranalyse - traumatische Dislokation des Implantates.....	103
4.3.6	Komplikationsrate und Vergleich mit der Literatur	106
4.4	Limitationen der Arbeit und Ausblick	109
5	Zusammenfassung.....	112
6	Literaturverzeichnis	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: juveniler pathologischer Knickplattfuß	4
Abbildung 2: Längsgewölbe des Fußes, Ansicht von medial	6
Abbildung 3: Aufsicht auf die Fußsohle	7
Abbildung 4: physiologisch vermehrter Fersenvalgus	8
Abbildung 5: Untersuchung des Fersenvalgus im Zehenspitzenstand	9
Abbildung 6: abgesunkenes Längsgewölbe mit Aufrichtung im Jack-Test	9
Abbildung 7: Pedobarographie mit vermehrter Belastung des Fußinnenrandes	10
Abbildung 8: erste veröffentlichte Röntgenaufnahme einer Arthrorise	16
Abbildung 9: Einstelltechnik für das Röntgenbild	28
Abbildung 10: Bestimmung des Calcaneusneigungswinkels	29
Abbildung 11: Bestimmung des Talusbasisreferenzwinkels	30
Abbildung 12: Bestimmung des Talocalcanealwinkels	32
Abbildung 13: Dokumentation der Winkelgrade	33
Abbildung 14: Vario Subtalar System® Fa. Normed®	34
Abbildung 15: Vario-Schrauben® Größe 10 – 13 mm und 13 – 16 mm	35
Abbildung 16: Operation I	36
Abbildung 17: Operation II	36
Abbildung 18: Operation III	37
Abbildung 19: Operation IV	37
Abbildung 20: Alter am Operationstag	43
Abbildung 21: Körpergröße am Operationstag	44
Abbildung 22: BMI am Operationstag	45
Abbildung 23: Verteilung der Zeitdauer bis zu den postoperativen Kontrollen	46
Abbildung 24: Verteilung der Messwerte Calcaneusneigungswinkel (CP)	49
Abbildung 25: mittlerer Calcaneusneigungswinkel	50
Abbildung 26: Verteilung der Messwerte von Talusbasisreferenzwinkel	52
Abbildung 27: mittlerer Talusbasisreferenzwinkel	52
Abbildung 28: Verteilung der Messwerte Talocalcanealwinkel in Winkelgraden	55
Abbildung 29: mittlerer Talocalcanealwinkel	55
Abbildung 30: Verteilung der AOFAS-Scores	58
Abbildung 31: mittlerer AOFAS-Score	60
Abbildung 32: Darstellung der Messwertdifferenzen des Calcaneusneigungswinkels	66
Abbildung 33: Darstellung der Messwertdifferenzen des Talusbasisreferenzwinkels	70
Abbildung 34: grafische Darstellung der Talusentwicklung	72
Abbildung 35: schematisch dargestellte Ansicht der Rückfußachse	86
Abbildung 36: Röntgenbild in 2 Ebenen, präoperativer Befund	94
Abbildung 37: Einfluss der Unterschenkelpositionierung auf den Rückfußvalgus	96
Abbildung 38: Röntgenbild in 2 Ebenen, postoperativer Befund	98
Abbildung 39: Röntgenbild des Fußes mit Dislokation der Vario-Schraube®	102
Abbildung 40: Röntgenbild des Fußes, mit Dislokation der Vario-Schraube®	104
Abbildung 41: Röntgenaufnahme des Fußes nach Explantation der Vario-Schraube®	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Referenzwerte für Winkelmessungen am Röntgenbild.....	12
Tabelle 2: historischer Kurzüberblick ausgewählter Implantate zur Arthrorise.....	18
Tabelle 3: Untersuchungszeitpunkte	23
Tabelle 4: AOFAS- <i>Ankle-Hindfoot-Scale</i>	25
Tabelle 5: Messpaare <i>Intrarater-</i> und <i>Interrater-</i> Reliabilität.....	40
Tabelle 6: Auswertung der Geschlechterverteilung.....	43
Tabelle 7: deskriptive Auswertung der Zeitdauer bis zu den postoperativen Kontrollen.....	45
Tabelle 8: deskriptive Auswertung der verwendeten Implantatgröße	46
Tabelle 9: Ergebnisse <i>Intrarater-</i> Reliabilität.....	47
Tabelle 10: Ergebnisse <i>Interrater-</i> Reliabilität	48
Tabelle 11: deskriptive Statistik zu den Messwerten für den Calcaneusneigungswinkel.....	48
Tabelle 12: Ergebnisse der rmANOVA für die Calcaneusneigungswinkel.....	50
Tabelle 13: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Calcaneusneigungswinkel.....	50
Tabelle 14: deskriptive Statistik zu den Messwerten Talusbasisreferenzwinkel	51
Tabelle 15: Ergebnisse der rmANOVA für die Talusbasisreferenzwinkel	53
Tabelle 16: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Talusbasisreferenzwinkel.....	53
Tabelle 17: deskriptive Statistik zu den Messwerten Talocalcanearwinkel in Winkelgraden.....	54
Tabelle 18: Ergebnisse der rmANOVA für die Talocalcanearwinkel.....	56
Tabelle 19: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Talocalcanearwinkel.....	56
Tabelle 20: Bildung von Rängen der Messpaare postopTC und präopTC.....	56
Tabelle 21: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für die Differenz der Talocalcanearwinkel.....	57
Tabelle 22: deskriptive Auswertung der Ergebnisse AOFAS-AHS in Punktwerten.....	57
Tabelle 23: Verteilung der Antworten der AOFAS-AHS.....	59
Tabelle 24: Ergebnisse der rmANOVA für die AOFAS-Scores	60
Tabelle 25: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die AOFAS-Scores	60
Tabelle 26: Bildung von Rängen der Messpaare follow-upAOFAS und präopAOFAS	61
Tabelle 27: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für die Differenz der erhobenen AOFAS- <i>Scores</i> ..	61
Tabelle 28: Vergleich der mittleren prä- und postoperativen Calcaneusneigungswinkel.....	68
Tabelle 29: Vergleich der mittleren prä- und postoperativen Talusbasisreferenzwinkel	70
Tabelle 30: Vergleich der mittleren prä- und postoperativen Talocalcanearwinkel)	75
Tabelle 31: Übersicht veröffentlichter Ergebnisse der Befragung mit der AOFAS-AHS.....	78

Abkürzungsverzeichnis

AHS	<i>ankle hindfoot scale</i> (Sprunggelenk-Rückfuß-Fragebogen)
AOFAS	American Orthopaedic Foot And Ankle Society (Amerikanische Orthopädische Fuß und Sprunggelenksgesellschaft)
BMI	Body-Mass-Index (Körpermaßindex)
CP	<i>calcaneal pitch angle</i> (Calcaneusneigungswinkel)
d.p.	dorsoplantar
DICOM	<i>digital imaging and communications in medicine</i> (Digitale Bildgebung und Kommunikation in der Medizin)
postop	postoperativ
präop	präoperativ
STA	<i>subtalar arthroereisis</i> (subtalare Arthrorise)
TC	<i>talocalcaneal angle</i> (Talocalcanealwinkel)
TD	<i>talar declination angle</i> (Talusbasisreferenzwinkel)
TN-Gelenk	Talonaviculargelenk
VAS	visuelle Analogskala

1 Einleitung

1.1 Die physiologische Entwicklung des wachsenden Fußes

Der menschliche Fuß unterliegt im Wachstumsalter einem Gestaltwandel und erreicht zwischen dem sechsten und zehnten Lebensjahr seine endgültige Struktur und Form (Hefti und Brunner 1999; De Pellegrin 2005). Der kindliche Fuß unterscheidet sich vom Fuß des Erwachsenen im Wesentlichen durch ein noch nicht ausgeprägtes Längsgewölbe und eine vermehrte Valgusstellung der Ferse. Das von Geburt an bestehende und teilweise bis zum sechsten Lebensjahr vorhandene Spitzzy-Fettpolster ist sohlenwärts entlang des medialen Mittelfußes lokalisiert und bestimmt den äußeren Eindruck eines *Pes planovalgus* beim Neugeborenen und Kleinkind (Spitzzy 1928). Die noch nicht ausgeprägte plantigrade Form des kindlichen Fußes ist in der sich verändernden Achse und Torsion der unteren Extremität im Wachstum begründet. Eine im Wachstumsalter bestehende vermehrte Schenkelhalsantetorsion, mit im Kleinkindalter bestehender Varusachse des Unterschenkels, führt zur kompensatorischen Außendrehung der Füße. Der zunächst noch bestehenden Innenrotations- und Valgusstellung der Malleolengabel folgt der Talus am oberen Sprunggelenk in eine Innenrotation und der Calcaneus am Subtalargelenk in eine Valgusposition (Schmidt und Parsch 2003). Die Valgisierung oder Eversion des Rückfußes führt zu einer Supination des Vor- und Mittelfußes im Verhältnis zum pronierten Rückfuß (Jani 1986). Die Verwringung des Vorfußes gegenüber dem Rückfuß und ein noch nicht ausreichend ausgeprägter Halte- und Stützapparat führen zum Absinken des Längsgewölbes des Fußes unter Belastung (Mosca 2010).

Im Rahmen der kindlichen Fußentwicklung wird das Spitzzyfettpolster zurückgebildet. Durch die zunehmende Stand- und Gangbelastung des Beines kommt es zur Kräftigung der Muskulatur des Unterschenkels und zur Straffung des Kapsel-Band-Apparates. Der knöcherne, mediale Fußrand mit Calcaneus, Talus, Os naviculare und den Ossa cuneiformia wird durch die zunehmend kräftiger ausgebildeten ligamentären Strukturen mit dem Ligamentum calcaneonaviculare plantare, dem Ligamentum plantare longum und der Plantaraponeurose passiv bogenförmig verspannt. Aktiv wird das mediale Längsgewölbe durch den Muskelzug der Mm. tibiales anterior und posterior, des M. flexor hallucis longus sowie des M. peroneus longus angehoben. Die durch das Längenwachstum reduzierte Schenkelhalsantetorsion führt zur Aussenrotation des Talus und damit zur verringerten Rückfußversion. Mit der Ausbildung eines physiologischen Längsgewölbes und eines physiologischen Rückfußvalgus ist die Entwicklung des kindlichen Fußes zur plantigraden Fußform zwischen dem sechsten und zehnten Lebensjahr abgeschlossen. Ein Fuß mit flexibler, valgischer Rückfußachse und unter Standbelastung abgesunkenem Längsgewölbe wird vom dritten bis zum zehnten Lebensjahr als juveniler, flexibler Knicksenkfuß bezeichnet und gehört als Normvariante zur physiologischen Entwicklung des Fußes (Schmidt und Parsch 2003; Hefti 2015).

1.2 Der pathologische juvenile Knickplattfuß

Die im Wachstumsalter physiologisch auftretende Knicksenkfußstellung und die während dieser Zeit auftretenden Abweichungen von der physiologischen Fußentwicklung werden sowohl in der englischsprachigen als auch in der deutschsprachigen Literatur unterschiedlich benannt. Die Begriffe Plattfuß, kongenitaler Plattfuß, echter Plattfuß, Knickfuß, Knicksenkfuß, Knickplattfuß, flexibler und kontrakter Knicksenkfuß, *Pes valgus*, *Pes planus*, *Pes planovalgus*, *flatfoot*, *pediatric flatfoot*, *valgic foot* und viele andere werden von diversen Autoren synonym verwendet (Döderlein et al. 2002; Corell und Berger 2005; Hefti 2015). Adressiert werden mit diesen Begriffen morphologisch ähnliche Fußfehlformen unterschiedlicher Genese und unterschiedlicher Behandlungsbedürftigkeit oder die o. g. physiologische Durchgangsform. Die unklare Bezeichnung genannter Fußformen bringt die in der Literatur teils unklare Abgrenzung der Fehlformen voneinander und den zum Teil fließenden Übergang zwischen den einzelnen Formen ineinander zum Ausdruck.

Die physiologisch während des Fußwachstums vorkommende Fußform mit reduziertem Längsgewölbe und flexiblem Rückfußvalgus, wird in dieser Arbeit als kindlicher, flexibler Knicksenkfuß oder vereinfacht Knicksenkfuß bezeichnet.

Abzugrenzen sind davon pathologische Formen eines kindlichen *Pes planovalgus*, im Weiteren mit dem Sammelbegriff kindlicher Knickplattfuß oder vereinfacht Knickplattfuß bezeichnet. Dieser soll die ätiologisch unterschiedlichen, während des Fußwachstums vorkommenden Fußfehlformen beinhalten, denen ein reduziertes oder fehlendes mediales Längsgewölbe und eine rigide oder flexible Rückfußversion gemein sind. Da die klinische Ausprägung und das zeitliche Auftreten der Fehlstellung des Knickplattfußes morphologisch der physiologischen Variante ähneln, ist die Identifikation des pathologischen kindlichen Knickplattfußes schwierig und erfordert eine exakte Analyse und Einteilung der Entität. Die Differenzierung zwischen Knickplattfuß und Knicksenkfuß erfolgt in dieser Arbeit rein begrifflich zwischen zuvor beschriebener physiologischer kindlicher Knicksenkfußstellung und dem idiopathischen pathologischen Knickplattfuß und gibt nicht den Grad der Ausprägung eines abgesunkenen Längsgewölbes wieder.

Trotz der gemeinsamen Bezeichnung des pathologisch kindlichen Knickplattfußes als Sammelbegriff für morphologisch ähnliche Fußfehlstellungen während des Fußwachstums, divergieren zugrundeliegende Pathologien deutlich. Sie unterscheiden sich sowohl durch Morphologie, Funktion, das zeitliche Auftreten im Wachstum als auch durch den Krankheitsverlauf. Gemeinsames Merkmal dieser verschiedenen Formen des Knickplattfußes ist ein reduziertes oder fehlendes mediales Längsgewölbe und eine unterschiedlich stark ausgeprägte Rückfußversion. Die Differenzierung der unterschiedlichen Formen des Knickplattfußes kann durch die verschiedenen Merkmale erfolgen.

Es können rigide von flexiblen Formen des Knickplattfußes unterschieden werden, womit die Korrekturfähigkeit der Fehlstellung des Rückfußes gemeint ist. Der rigide

Knickplattfuß ist gekennzeichnet durch die Aufhebung der Beweglichkeit der Ferse von der Valgusachse in die Varusachse. Dies kann durch eine strukturelle Bewegungsunfähigkeit des Subtalargelenkes unterschiedlicher Genese oder Veränderungen der das Subtalargelenk umgebenden Weichteile wie Band- oder Sehnenverkürzung sowie spastischen Sehnenzug bedingt sein. Die flexible Fehlstellung des Rückfußes lässt sich im Gegensatz dazu passiv und zum Teil auch aktiv aufheben. Ob dies vollständig oder nur partiell möglich ist, hängt von der Beweglichkeit des unteren Sprunggelenkes oder der Ausprägung der für die Bewegungseinschränkung auslösenden Faktoren ab.

Weiterhin können unterschiedliche Formen des Knickplattfußes nach dem zeitlichen Auftreten voneinander differenziert werden. Die bei Geburt vorliegenden, kongenitalen Formen werden von den erworbenen Zuständen des Knickplattfußes unterschieden. Beide Varianten werden weiter anhand ihrer zugrundeliegenden Pathologie eingeteilt. Dabei werden primäre Formen mit strukturellen Ursachen und sekundäre Formen mit neurologischen oder genetischen Erkrankungen sowie Fehlstellungen im Rahmen von Systemerkrankungen unterschieden (Schmidt und Parsch 2003; Halabchi et al. 2013).

In der vorliegenden Untersuchung soll ausschließlich die Therapie des primären, idiopathischen flexiblen Knickplattfußes retrospektiv untersucht werden. Weitere Formen des kindlichen Knickplattfußes wie der Talus verticalis, der Knickplattfuß im Rahmen von systemischen Bindegewebserkrankungen oder neuromuskulären Erkrankungen sowie der kontrakte Knickplattfuß bei Coalitionen des Subtalargelenkes werden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

1.3 Der primäre idiopathische flexible Knickplattfuß

Der primär idiopathische Knickplattfuß ist die pathologische Form der oben beschriebenen physiologischen Durchgangsform und ist während des Fußwachstums nur schwer vom Knicksenkfuß im Rahmen der physiologischen Fußentwicklung des Kindes abzugrenzen. Döderlein et al. (2002) beschreiben den Knickplattfuß als eine „Fußdeformität, die durch eine Verminderung, Aufhebung oder Umkehrung des Fußlängsgewölbes und Lateralabweichung des Rückfußes in unterschiedlichem Ausmaß charakterisiert ist“. Die Schwierigkeit der Abgrenzung des Physiologischen vom Pathologischen wird in der von Döderlein et al. (2002) ergänzend dargestellten Definition von Carroll deutlich: „*It is difficult to define a flatfoot with germanic precision. It is like we are dealing with the art of orthopaedics rather than the science of orthopaedics*“.

Wie durch die Namensgebung impliziert, beinhaltet die Knickplattfußstellung zwei sichtbare, miteinander kombinierte Fehlstellungen – den Knickfuß mit vermehrtem Rückfußvalgus und den Plattfuß mit abgesunkenem Längsgewölbe (Abbildung 1).



Abbildung 1: juveniler pathologischer Knickplattfuß mit abgesunkenem Längsgewölbe (a) und vermehrtem Rückfußvalgus (b), sportlich aktiver männlicher Patient 15 Jahre

Erstmals wurde dies durch Ambroise Parré dargestellt (Döderlein et al. 2002). Johann August Schilling beschrieb 1860 als Erster das initiale Auftreten der nicht angeborenen Fehlstellung des Fußes ab dem zwölften Lebensjahr und grenzte es damit erstmals von der im Fußwachstum auftretenden physiologischen Stellung ab (Döderlein et al. 2002).

Das in frühen Lebensjahren noch physiologisch abgesenkte Längsgewölbe durch die physiologisch vermehrte Eversionsstellung des Subtalargelenkes sollte sich im Rahmen der normalen Entwicklung des Fußes in Richtung einer plantigraden Fußstellung korrigieren (Rose et al. 1985). Dies beinhaltet ein sichtbar aufgerichtetes Längsgewölbe im beidfüßigen Stand und ggf. eine weitere Aufrichtung des Längsgewölbes im Einbeinstand. Dies fehlt bei einem primär idiopathischen Knickplattfuß. Häufig kommt es beim Knickplattfuß im Einbeinstand zu einem weiteren Absinken oder der vollständigen Aufhebung des Längsgewölbes.

Auch der Winkel zwischen der Rückfußachse und der Unterschenkelachse sollte nach Abschluss der Fußentwicklung den physiologischen Rückfußvalgus nicht überschreiten und im Zehenspitzenstand in eine vollständige Varusposition überführt werden können. Der pathologische Knickplattfuß zeigt im Stand eine vermehrte Eversion des Calcaneus gegenüber dem Talus und dadurch bedingt eine valgisch eingestellte Rückfußachse. In der funktionellen Untersuchung zeigt sich eine verminderte oder fehlende Varisierung des Calcaneus im Zehenspitzenstand. Durch die vermehrte Eversion und Plantarflexion des Calcaneus ist die Achillessehne in unterschiedlich starker Ausprägung verkürzt. Passiv ist die Fehlstellung in der Regel vollständig redressierbar, was den primären idiopathischen Knickplattfuß von den rigiden Fußfehlstellungen, wie einem spastischen Knickfuß, unterscheidet.

Ein Knickplattfuß ist also der Zustand bei verzögerter Entwicklung oder nach ausgebliebener Korrektur des physiologischen Knicksenkfußes. So lässt sich der pathologische Knickplattfuß zunächst formell anhand seines zeitlichen Auftretens eingrenzen. Der Zeitpunkt der abgeschlossenen Entwicklung der Fußform wird in der Literatur unterschiedlich benannt und lässt sich vom sechsten bis zum zehnten Lebensjahr eingrenzen (Vanderwilde et al. 1988; Gould et al. 1989; Bertani et al. 1999; Schmidt und Parsch 2003; Mosca 2010; Staheli et al. 1987).

Die im Rahmen der verzögerten Fußentwicklung bestehende Fehlstellung geht nicht immer mit Beschwerden oder Einschränkungen einher und ist zunächst als morphologische Abweichung ohne zwingenden Krankheitswert zu betrachten. Oft zeigt sich als initiales Zeichen eines beschwerdeverursachenden pathologischen Knickplattfußes ein belastungsabhängiger Schmerz oder eine Druckschmerzhaftigkeit an der Insertion der M. tibialis posterior-Sehne am Os naviculare. Diese ist meist der Grund für eine orthopädische Vorstellung.

1.3.1 Epidemiologie

Angaben über die Häufigkeit des primär idiopathischen flexiblen Knickplattfußes sind bei fließender Grenze von noch physiologischer Fußentwicklung zu pathologischer Fehlstellung schwierig. In der Literatur wird eine Inzidenz von 0,1% bis 77,9% angegeben (Morley 1957; Staheli et al. 1987; Bertani et al. 1999; Hefti und Brunner 1999; Döderlein et al. 2002; Mosca 2010; Evans und Rome 2011; Mackenzie et al. 2012; Halabchi et al. 2013). Die große Varianz der angegebenen Inzidenz ist in der Betrachtung unterschiedlicher Altersgruppen und der abweichenden Definition des pathologischen Knickplattfußes begründet (Evans und Rome 2011).

1.3.2 Ätiologie

Ein persistierend abgesunkenes Längsgewölbe und ein vermehrter Rückfußvalgus über das zehnte Lebensjahr hinaus sind übereinstimmend durch eine vorliegende ligamentäre Insuffizienz begründet (Bertani et al. 1999; Hefti und Brunner 1999; Döderlein et al. 2002; Schmidt und Parsch 2003). Die bogenförmig angeordneten Fußknochen werden gegeneinander durch das Ligamentum calcaneo-naviculare plantare, das Ligamentum plantare longum und die Plantaraponeurose sowie den Kapselapparat der Fußgelenke zum Längsgewölbe verspannt (Abbildung 2). Auch das Ligamentum deltoideum ist ein wichtiger Stabilisator des angehobenen medialen Fußrandes (Gould et al. 1989; Schmidt und Parsch 2003).

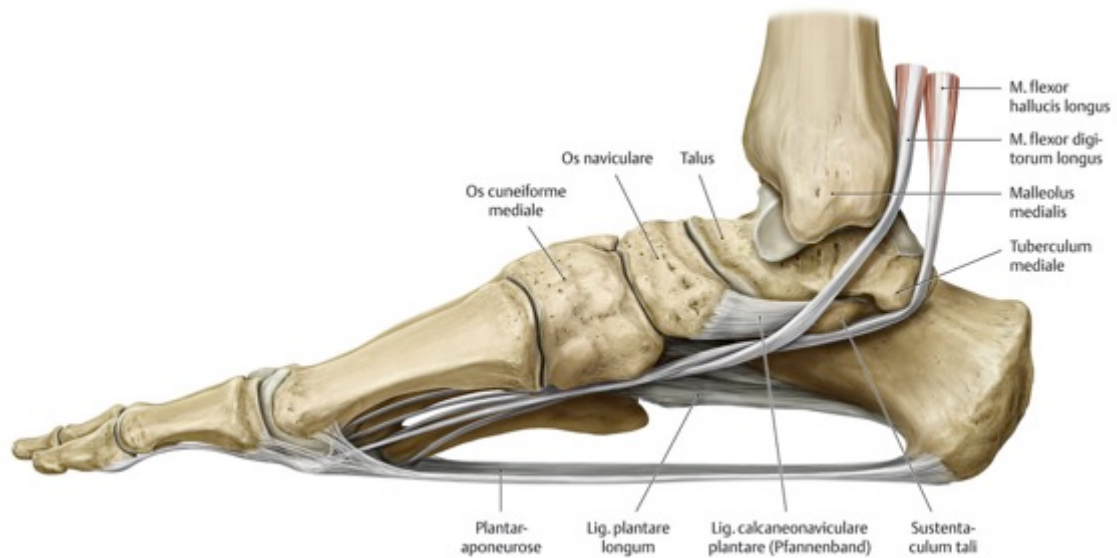


Abbildung 2: Längsgewölbe des Fußes, Ansicht von medial (Schulte et al. 2011; mit Genehmigung des Georg Thieme Verlages)

Die Rolle der Muskulatur des Unterschenkels und der intrinsischen Fußmuskulatur wird hingegen unterschiedlich beurteilt. Während der Einfluss der Unterschenkelmuskulatur auf das Längsgewölbe und die Stellung des Rückfußes im Gang unstrittig als wichtige Voraussetzung für die dynamische Stabilität des Fußes und Aufrechterhaltung des Fußlängsgewölbes beschrieben werden, wird die auf das Längsgewölbe des Fußes im Stand wirkende Muskelkraft in der Literatur unterschiedlich bewertet (Schmidt und Parsch 2003). Einige Autoren schreiben dem Muskelzug der *Mm. tibiales anterior* und *posterior* sowie der langen Zehenflexoren bei der Aufrechterhaltung und Verspannung des Längsgewölbes eine wichtige Rolle zu, während andere der muskulären Aktivität auf den Fuß im Stand keine Bedeutung beimessen und die o.g. Muskeln im Stand als inaktiv beschreiben (Döderlein et al. 2002; Hefti und Brunner 1999; Schmidt und Parsch 2003).

Döderlein et al. (2002) beschreiben neben der ligamentären Laxität und der muskulären Insuffizienz eine „Wachstumshemmung bzw. Druckatrophie komprimierter Knochen“ als mögliche knöcherne Ursache für die Ausbildung eines Knickplattfußes. Auch werden der Einfluss von Übergewicht bei gleichzeitigem Vorliegen einer Bandlaxität und das frühe Tragen von Schuhwerk auf die Entwicklung einer Knickplattfußstellung angenommen (Hefti und Brunner 1999).

Allen Ursachen ist die dadurch entstehende pathologische Stellung der Fußknochen zueinander gemein. Mosca (2010) beschreibt eine Verwringung des Fußes durch vermehrte Eversion des Subtalargelenks bei gleichzeitig vermehrter Supination des Vor- und Mittelfußes unter Belastung. Diese Längsverwringung initiiert die Absenkung des Längsgewölbes. Der Calcaneus zeigt eine vermehrte Valgus-, Aussenrotations- und Dorsiflexionsstellung in Relation zum Talus sowie eine Plantarflexionsstellung bezogen auf die Tibia. Die dadurch resultierende Plantarflexionsstellung des Talus führt zur Abduktions-

und Dorsiflexionsstellung im Talonaviculargelenk. Dies bedingt einen weiteren Verlust des Längsgewölbes bei vermehrter Supinationsstellung des Vorfußes in Bezug auf den Rückfuß (Schmidt und Parsch 2003). Die vermehrte Plantarflexion des Calcaneus gegenüber der Tibia führt zur Verkürzung der Achillessehne und Wadenmuskulatur. In Abhängigkeit von genetischer Disposition, Körpergewicht, allgemeiner Bandlaxität, allgemeinem Muskeltonus und körperlichem Entwicklungsfortschritt zeigt sich das Bild eines Fußes mit Rückfußvalgus und abgesunkenem Längsgewölbe in unterschiedlicher Ausprägung.

1.3.3 Klinische und apparative Untersuchung

Döderlein und Multerer (2012) schlagen einen umfassenden Untersuchungsgang zur Beurteilung eines kindlichen Fußes bei Verdacht auf das Vorliegen eines Knickplattfußes vor.

Die klinische Untersuchung umfasst sowohl die Beurteilung des belasteten Fußes im Stehen, des hängenden Fußes ohne Belastung als auch eine Beurteilung der Füße im Gang. Zunächst wird der Fuß auf Rötungen, Druckstellen oder umschriebene Druckschmerzen untersucht. Weiterhin werden die aktive und passive Beweglichkeit des Subtalgelenkes sowie des Chopartgelenkes und somit die Korrekturfähigkeit der Fehlstellungen ermittelt. Ergänzend besteht die Möglichkeit, die kombinierte Redressionsfähigkeit der verschiedenen Anteile einer Fehlstellung zu überprüfen.



Abbildung 3: Aufsicht auf die Fußsohle mit (a) adulter V-Form und (b) kindlicher Bananenform, weiblicher Patient, drei Jahre (c) Fußabdruck männlicher Patient vier Jahre

Bei Vorliegen eines flexiblen Knickplattfußes ohne sekundäre Sehnenverkürzung sollte die vermehrte Rückfußversion zeitgleich zu korrigierter Vorfußpronation oder -abduktion passiv korrigierbar sein. Zur Überprüfung der Länge der medialen und lateralen Fußsäule wird der Fuß in der plantaren Aufsicht betrachtet (Abbildung 3) und eine mögliche „Bananenform“ von einer physiologischen „V-Form“ unterschieden (Döderlein und Multerer 2012). Zur Beurteilung einer möglichen Achillessehnenverkürzung sollte die Dorsalextensionsfähigkeit des oberen Sprunggelenkes bei manuell redressierter, physiologisch eingestellter Rückfußachse bei gebeugtem und gestrecktem Kniegelenk erhoben werden. Auch die Ausrichtung der Malleolengabel zur Differenzierung von ggf. weiter proximal gelegenen Ursachen einer Fußfehlstellung sollte entsprechend Döderlein und Multerer (2012) erhoben werden. Hefti (2015) weist in diesem Zusammenhang auf die Untersuchung der Beinachse hin, da Genua vara eine Fußfehlstellung begünstigen.

Um funktionelle von strukturellen Pathologien zu differenzieren, sollte die Funktion der Unterschenkelmuskulatur, insbesondere die der Mm. tibiales anterior und posterior, des M. flexor hallucis longus und des M. peroneus longus überprüft werden. Bei der Differenzierung von physiologischem Knicksenkfuß und pathologischem Knickplattfuß ist die funktionelle Untersuchung des Fußes im Einbeinstand und Zehenspitzenstand ein wichtiger Indikator. Im Zehenspitzenstand sollte bei physiologischer Funktion o.g. Muskeln der im Stand physiologische Fersenvalgus vollständig in eine Varusstellung des Calcaneus überführt werden können (Abbildung 4).

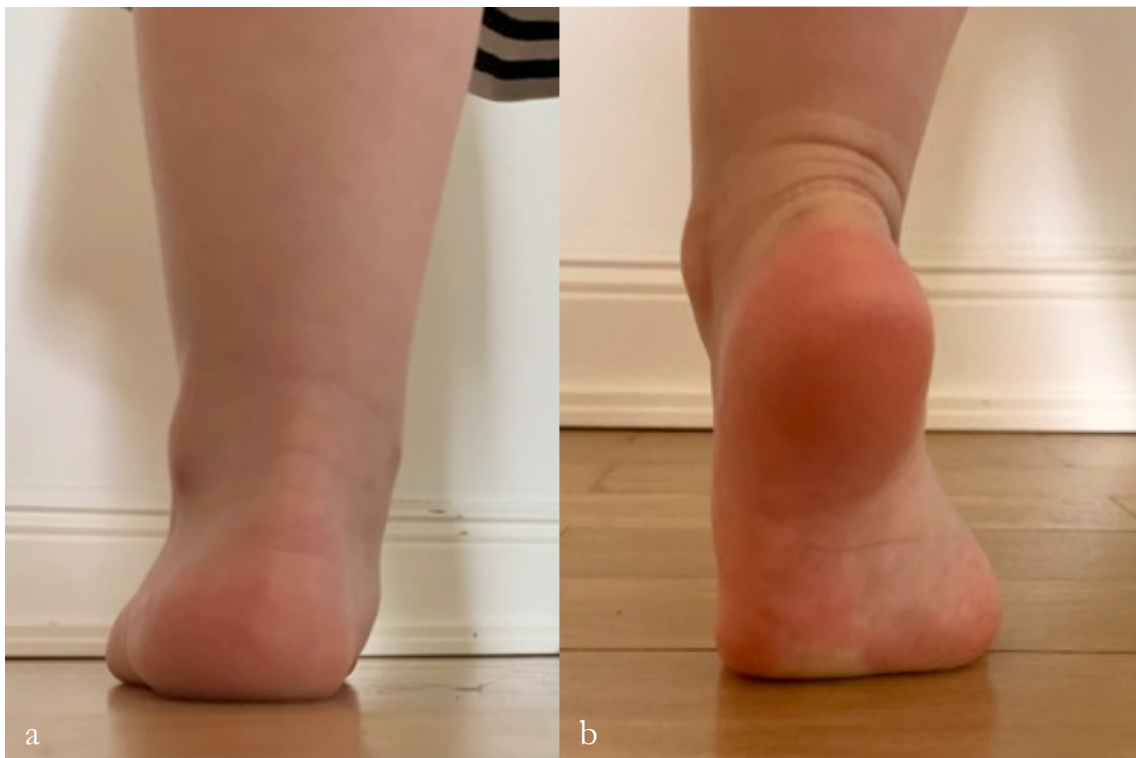


Abbildung 4: physiologisch vermehrter Fersenvalgus (a) mit vollständiger Varisierung im Zehenspitzenstand (b)

Eine partielle oder vollständig ausbleibende Ferseninversion ist ein Hinweis auf eine Insuffizienz des M. tibialis posterior (Abbildung 5). Die aktive Aufrichtung des abgesunkenen Längsgewölbes im Einbeinstand ist bei Vorliegen eines Knickplattfußes mit Insuffizienz des M. tibialis anterior und des M. peroneus longus signifikant eingeschränkt. Ebenfalls wird die Fähigkeit zur Aufrichtung des Längsgewölbes im Hyperextensionstest der Großzehe (Abbildung 6) überprüft. Dabei zeigt sich durch passive Dorsalextension der Großzehe als physiologische Reaktion eine Aufrichtung des Längsgewölbes und eine Aussenrotation der Tibia (Rose et al. 1985).



Abbildung 5: Untersuchung des Fersenvalgus im Zehenspitzenstand: rechts vollständige Überführung der Ferse in die Varusposition; links partiell varisierte Ferse bei Insuffizienz des M. tibialis posterior



Abbildung 6: abgesunkenes Längsgewölbe (a) mit Aufrichtung im Jack-Test (b)

Zum Ausschluss einer zugrundeliegenden Schwäche der Muskulatur des Unterschenkels kann die Anzahl der möglichen Wiederholungen beim Übergang vom Einbeinstand in den Einbeinzehenspitzenstand dienen. Weniger als 15 mögliche Wiederholungen sind ein Hinweis auf eine verminderte Kraft dieser Muskeln (Döderlein und Multerer 2012).

Während Rose (1985) den Wert einer Röntgenuntersuchung des Fußes in diesem Zusammenhang als nicht hilfreich erachtet, schlagen Döderlein und Multerer (2012) sowie Hefti (2015) eine Röntgenuntersuchung des Fußes im Stehen vor. Die Darstellung des Fußes im dorsoplantaren (d.p.) und streng seitlichen Strahlengang ermöglicht eine Beurteilung der Stellung der Fußwurzelknochen zueinander durch Erhebung von Winkelgraden. In der ergänzenden Schrägaufnahme des Fußes können Coalitionen und Fehlbildungen abgebildet werden. Die Beurteilung und Bewertung des Fußes im Röntgenbild werden in Abschnitt 2.6 gesondert beschrieben.

Ergänzend zu klinischer und radiologischer Untersuchung können Abdrücke der Fußsohle (Abbildung 3c), Pedobarographie (Abbildung 7) und Podoskopie eine vermehrte Belastung der medialen Fußsäule als Hinweis auf einen Knickplattfuß sichtbar machen.

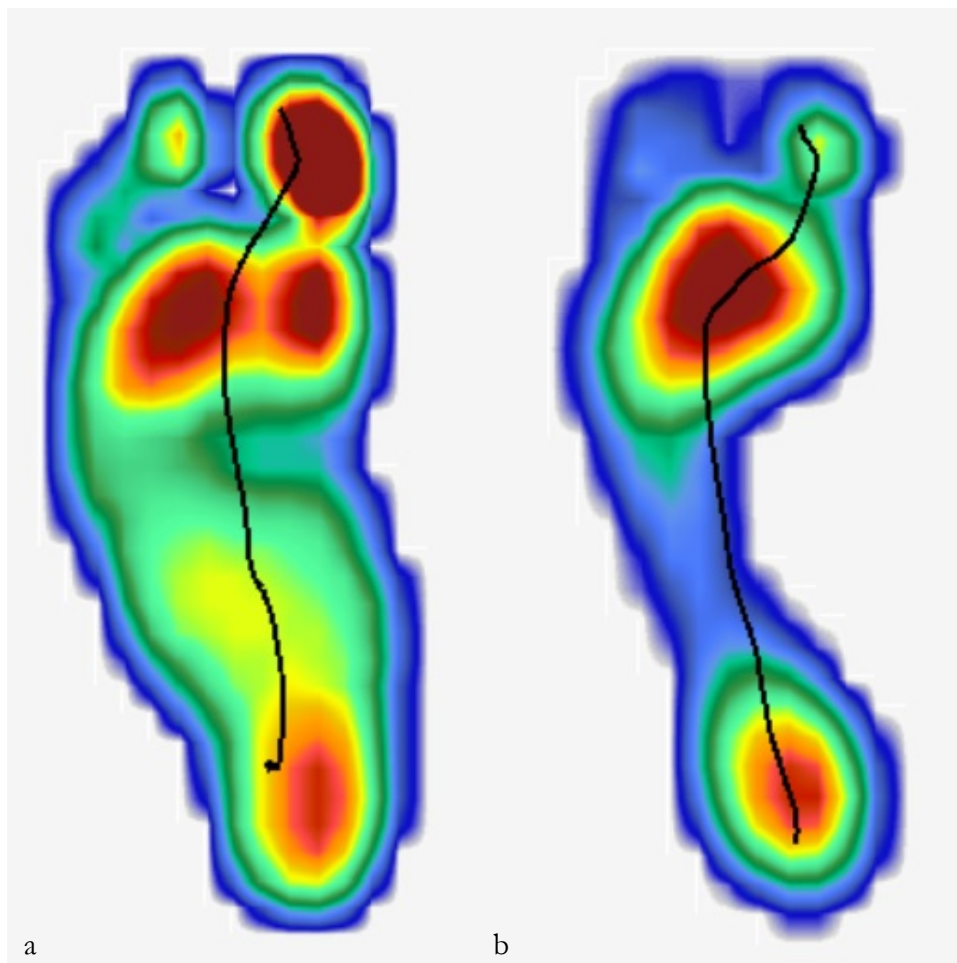


Abbildung 7: Pedobarographie mit vermehrter Belastung des Fußinnenrandes beim kindlichen Knicksenkfuß (a) und bei physiologischer Belastungsverteilung (b)

1.3.4 Klassifikation

Analog zur Unschärfe begrifflicher Beschreibungen des kindlichen flexiblen Knicksenkfußes und des Knickplattfußes wird auch die klare inhaltliche Einteilung des pathologischen idiopathischen Knickplattfußes bisher nur in ausgewählten Arbeiten vorgenommen (Banwell et al. 2018).

Die Beurteilung und Einteilung des Fußes erfolgen überwiegend anhand morphologischer Kriterien. In der Untersuchung des Fußabdruckes und der Fußsohlendruckmessung wird die zunehmende mediale Belastung der Fußsohle und das Absinken des Längsgewölbes als Ausdruck eines pathologischen Knickplattfußes gewertet und in Indices auf Grundlage verschiedener Parameter ausgedrückt (Onodera et al. 2008).

Hefti (2015) teilt anhand podoskopischer Fußabdrücke vier Formen ein. Er beschreibt einen „normalen Fuß“ mit „medialer Aussparung der Belastungsfläche“ und „normalem Belastungsmuster mit hauptsächlich Beschwielung unter der Ferse sowie den Metatarsaleköpfchen eins und fünf“. Als „flexiblen Plattfuß“ beschreibt Hefti (2015) einen Fuß mit „fehlender medialer Aussparung der Belastungsfläche, aber normalem Belastungsmuster“. Dieser wird in vorliegender Arbeit analog als physiologischer Knicksenkfuß bezeichnet. Bei einem „schweren Plattfuß“ ist entsprechend der Definition von Hefti (2015) die „Belastung hauptsächlich medial unter dem Talus“ mit fehlender medialer Aussparung der Fußsohle und pathologischem Belastungsmuster. Dieser wird in vorliegender Arbeit analog als Knickplattfuß bezeichnet. Bei einem „sehr schweren Plattfuß“ fehlt die Belastung lateral“ am Fußaußenrand (Hefti 2015).

Ein weiteres morphologisches Kriterium ist der gemessene Fersenvalgus in Winkelgraden. Hierbei gelten Werte von 20° und weniger als physiologische und Winkelgrade über 20° als pathologische Rückfußstellung (Jani 1986).

Überwiegend wird heute der Ausprägungsgrad des Knickplattfußes nach radiomorphologischen Kriterien mit der Erhebung von Winkelgraden am Röntgenbild des belasteten Fußes in zwei Ebenen eingeteilt (Roye und Raimondo 2000; Younger et al. 2005; Mosca 2010). Zur Differenzierung des physiologisch entwickelten Fußes von der pathologisch veränderten Fußstellung dienen in aktueller Literatur überwiegend die Ergebnisse von Vanderwilde et al. (1988). In der Untersuchung von 74 gesunden Kindern im Alter von sechs Monaten bis zehn Jahren wurde die Ausrichtung der Knochen des Rück- und Mittelfußes zueinander und zur Bodenebene erhoben und in Winkelgraden gemessen. Diese Referenzwerte werden zur Differenzierung von fehlgestellten Füßen häufig herangezogen (Tabelle 1).

Zwar sind die am Röntgenbild erhobenen Winkel reproduzier- und vergleichbar, erfassen jedoch die Stellung von Rück- gegenüber Vorfuß bzw. Talus gegenüber Calcaneus allenfalls im Stand ohne Berücksichtigung der im Gang die Fußstellung beeinflussenden Muskelaktivität. Damit wird die Funktion und Fähigkeit zur aktiven Korrektur der Fußform

bei der Einteilung zwischen physiologischer und pathologischer Gestalt weder in der radiologischen noch der pedobarographischen oder der statisch-deskriptiven Betrachtung berücksichtigt.

Tabelle 1: Referenzwerte für Winkelmessungen am Röntgenbild während der kindlichen Fußentwicklung (Vanderwilde et al. 1988)

Röntgen	Winkel	Neugeborenes	2 Jahre	4 Jahre	9 Jahre
dorsoplantar	Talocalcaneal	28° bis 57°	27° bis 50°	25° bis 44°	11° bis 34°
dorsoplantar	Calcaneal-fifth metatarsal	-9° bis 14°	-10° bis 10°	-10° bis 8°	-8° bis 15°
dorsoplantar	Talar-first metatarsal	9° bis 31°	2° bis 26°	-3° bis 23°	-10° bis 17°
lateral	Talocalcaneal	23° bis 55°	29° bis 57°	33° bis 57°	29° bis 52°
lateral	Tibiocalcaneal	60° bis 96°	57° bis 87°	56° bis 81°	64° bis 74°
lateral	Tibiotalar	86° bis 145°	95° bis 131°	101° bis 122°	95° bis 124°
lateral	Talar-first metatarsal	-2° bis 40°	-4° bis 29°	-5° bis 22°	-7° bis 18°
lateral	Talar- horizontal	13° bis 55°	18° bis 46°	20° bis 39°	25° bis 36°

Denis (1974) teilt die Ausprägung des Knickplattfußes auf der Grundlage radiomorphologischer und klinischer Kriterien in drei Grade ein. Bei Grad eins zeigt sich eine Talussteilstellung von 35° bis 45°, eine normale Calcaneussteilstellung, eine talocalcaneare Divergenz von 20° und ein Fersenvalgus von 7° bis 10° kombiniert mit einer vollständigen Korrekturfähigkeit des Fersenvalgus in Spitzfußstellung. Ein Knicksenkfuß zweiten Grades zeigt eine Talussteilstellung von 45° bis 50°, eine Calcaneussteilstellung von 20° und weniger, eine talocalcaneare Divergenz von 35° bis 50° und einen Fersenvalgus von 10° bis 15° bei erhaltener vollständiger Korrekturfähigkeit des Fersenvalgus in Spitzfußstellung. Bei vorliegend einer Fehlstellung des Fußes von Grad drei entsprechend der Einteilung von Denis (1974) liegt eine Talussteilstellung von 50° und mehr, eine Calcaneussteilstellung von 20° und weniger, eine talocalcaneare Divergenz von mehr als 50° und einen Fersenvalgus von 15° bis 30° bei eingeschränkter Korrekturfähigkeit des Fersenvalgus in Spitzfußstellung oder fehlender passiver Korrekturpotenz vor. (Döderlein et al. 2002).

Döderlein und Multerer (2012) beziehen in die Beurteilung des Kinderfußes und der Differenzierung zwischen physiologischer Durchgangsform und pathologischer Fußfehlform sowohl radiologische Diagnostik als auch die Pedobarographie mit ein. Jedoch haben in ihrer Beurteilung des Fußes die reproduzierbare klinische Untersuchung und Funktionstests den größten Stellenwert. Sie weisen ebenfalls auf die bisher fehlende allgemein gebräuchliche Einteilung der Knickplattfuß-Deformität hin und empfehlen daher die Einteilung nach der aktiven und passiven Korrigierbarkeit des Rückfußvalgus (Döderlein und Multerer 2012). Vorgeschlagen wird eine Einteilung der Fehlstellung in vier Grade. Grad eins bedeutet eine Korrektur des Rückfußvalgus im Zehenspitzenstand über die Mittelstellung hinaus. Grad zwei bedeutet eine Korrektur bis hin zur Mittelstellung, Grad drei beschreibt eine verbliebene Korrekturfähigkeit ohne Erreichen der Mittelstellung der

Ferse und Grad vier beinhaltet eine kontrakte Fehlstellung der Ferse (Döderlein und Multerer 2012).

Rose et al. (1985) teilen die Ausprägung des Knickplattfußes entsprechend der möglichen Aufrichtung des Längsgewölbes und der Außenrotation der Tibia im Hyperextensionstest der Großzehe ein. Die Autoren beschreiben eine normale Funktion des Fußes auf passive Extension der Großzehe bei vollständiger Aufrichtung des Längsgewölbes und Außenrotation der Tibia. Ein negatives Testergebnis läge bei gänzlich fehlender Längsgewölbeaufrichtung und Außenrotation der Tibia vor. Dieses Ergebnis schreiben Rose et al. (1985) dem pathologischen juvenilen Knickplattfuß zu. Eine intermediäre Testreaktion zeige sich in einer fehlenden Tibiarotation bei erhaltener Längsgewölbeaufrichtung. Dieses Testergebnis würde nur bei Vorliegen von weiteren „abnormalen Zeichen“ als beweisend für einen Knickplattfuß gewertet (Rose et al. 1985).

1.3.5 Therapie

Die kindliche Knicksenkfußstellung wird übereinstimmend als nicht therapiebedürftig und als normale Entwicklung des Fußes angenommen (Hefti und Brunner 1999; Schmidt und Parsch 2003; Mosca 2010; Döderlein und Multerer 2012). Weiter wird einer frühen Einlagenversorgung ein fehlender oder sogar negativer Effekt auf die Fußentwicklung zugeschrieben (Gould et al. 1989; Mosca 2010; Hefti 2015).

Anders werden Interventionen bei persistierender Knickplattfußstellung nach Abschluss des Fußwachstums gesehen. Therapieindizierend sind dabei nicht nur die Beseitigung etwaiger Beschwerden, sondern auch mögliche im Verlauf auftretende degenerative Veränderungen des Fußes durch die persistierende Fehlstellung im Sinne einer prophylaktischen Korrektur (Schmidt und Parsch 2003; Mosca 2010). Bei fehlender Übereinstimmung über den Zeitpunkt der abgeschlossenen Fußentwicklung divergieren jedoch die Empfehlungen über den Therapiebeginn.

1.3.5.1 Konservative Therapie

In der gegenwärtigen Praxis wird mit der konservativen Therapie begonnen. Diese umfasst zunächst Eigenübungen des Kindes mit den Eltern. Dabei soll mehrmals täglich der Zehenspitzenang zur Kräftigung der intrinsischen Fußmuskulatur durchgeführt und die damit verbundene Aufrichtung des Längsgewölbes erreicht werden. Auch der M. tibialis posterior wird so beübt. Ergänzend dazu sollte auch der Fersengang zur Dehnung des M. triceps surae durchgeführt werden (Kim und Kim 2016).

Bei persistierender Fehlstellung oder vorliegender Verkürzung der Achillessehne werden physiotherapeutische Übungsbehandlung mit Kräftigung und Training der das Längsgewölbe aufrichtenden Muskulatur sowie Dehnübungen der Achillessehne und Wadenmuskulatur durchgeführt. Um das Längsgewölbe durch den Zug der Sehnen des Mm. tibiales anterior und posterior anzuheben, ist die „Verlängerung“ der dorsalen

Unterschenkelstrukturen notwendig. Die Korrektur des Rückfußvalgus und des abgesunkenen Längsgewölbes ist bei verkürzter Wadenmuskulatur nur in plantarflektierter Stellung des Calcaneus möglich. Dieser maskierte Spitzfuß sollte bei der Beübung des Fußes auch adressiert werden, um eine Korrektur der Fußstellung in Neutralstellung des Rückfußes im Stand zu ermöglichen.

Eine weitere konservative Therapieoption ist die Einlagenversorgung. Trotz umstrittener Wirksamkeit der Einlagen in Bezug auf die dauerhafte Korrektur der Fußfehlstellung wird sie im orthopädischen Alltag regelhaft durchgeführt (Kim und Kim 2016; Wenger et al. 1989). Die Indikation zur Einlagenversorgung sollte dabei nicht die Korrektur der Fehlstellung als vielmehr die Reduktion von Beschwerden sein (Evans 2008). Durch die externe Aufrichtung des Fußlängsgewölbes mit medial abstützenden, schalenförmig fersenumfassenden Einlagen zur Korrektur des vermehrten Rückfußvalgus sollen die durch Überlastung und vermehrten Zug schmerzhaften Strukturen des medialen Rückfußes entlastet werden. Insbesondere die tendinitische Reizung der Sehne des M. tibialis posterior, deren Zug gegen eine Achillessehnenverkürzung das reduzierte Längsgewölbe hält oder ggf. aufrichtet, wird durch Einlagenversorgung minimiert und damit Schmerzen reduziert.

1.3.5.2 Operative Therapie

Bei persistierenden Beschwerden trotz konservativer Therapie über das zehnte Lebensjahr hinaus kann eine operative Therapie erwogen werden. Bei den operativen Verfahren kommen Weichteileingriffe oder knöcherne Korrekturen zur Anwendung, welche oft in einem Eingriff miteinander kombiniert werden. Die Weichteileingriffe umfassen unter anderem die Verlängerung der Achillessehne in unterschiedlichen Techniken, die Transposition der Sehne des M. flexor digitorum longus zur Unterstützung der Längsgewölbeaufriechung oder die Rekonstruktion des Ligamentum calcaneonaviculare plantare. Knöcherne operative Korrekturen werden in die Versteifungsoperationen, die Korrekturosteotomien und die bewegungslimitierenden Eingriffe eingeteilt. Die Korrekturosteotomien dienen der Herstellung des physiologischen Längsgewölbes und der physiologischen Rückfußachse. Hierbei werden überwiegend medialisierende Calcaneusosteotomien, Calcaneusosteotomien zur Verlängerung der lateralen Fußsäule in verschiedenen Techniken oder die *Open-Wedge*-Osteotomie des medialen Os cuneiforme angewendet. Bei den im Kindesalter selten durchgeführten Versteifungsoperationen sind unter anderem die singuläre Korrekturarthrodese des talonavicularen Gelenkes oder die Triplearthrodese des unteren Sprunggelenkes beschrieben (Döderlein et al. 2002; Blitz et al. 2010).

Die Arthrorise, als in der vorliegenden Untersuchung betrachtetes Verfahren zur Bewegungslimitierung des Subtalgelenkes wird folgend beschrieben.

1.4 Die subtalare Arthrorise

Der Begriff Arthrorise, im englischen Sprachraum als *Arthroereisis* bezeichnet, leitet sich aus den griechischen Wörtern *Arthron* (Gelenk) und *ereisai* (stützen oder gegenhalten) ab. Die subtalare Arthrorise ist ein gängiges Verfahren zur Korrektur des pathologischen juvenilen Knickplattfußes bei der durch Einbringen eines Implantates in den Calcaneus oder den Sinus tarsi die Gelenkbeweglichkeit des Subtalargelenkes limitiert oder die Bewegungsachse des Subtalargelenkes verändert wird. Dies wird in einem ambulanten, operativen Eingriff wahlweise an einem oder gegebenenfalls an beiden Füßen gleichzeitig durchgeführt. Das Implantat verbleibt heute üblicherweise bis zum Abschluss des Knochenwachstums.

Chambers (1946) beschreibt als erster eine Operationstechnik zur Reduktion der pathologischen Gelenkbeweglichkeit des Subtalargelenkes. Der Autor bringt dazu einen aus dem cranialen Calcaneus mobilisierten, keilförmigen Knochenspan ventral der posterioren Gelenkfacette in den Sinus tarsi ein, um die ventralgerichtete Subluxation des Processus lateralis tali gegenüber dem Calcaneus und die vermehrte Calcaneuseversion zu reduzieren (Chambers 1946; Bernasconi et al. 2017). Grice (1952) umschreibt mit der „extraartikulären Arthrodesese“ ein Verfahren zur Aufhebung der pathologischen Gelenkstellung von Talus zu Calcaneus. Dabei wird ein senkrecht im Sinus tarsi stehender Knochenspan lateral in den Talus und den Calcaneus eingebracht, ohne die Gelenkflächen des Subtalargelenkes zu tangieren (Grice 1952).

In einer Modifikation des Verfahrens von Grice (1952) wird von Haraldsson (1962) erstmals der Begriff „Arthrohisis“ verwendet (Bernasconi et al. 2017). Er beschreibt damit ein Verfahren mit Einbringen eines nicht fixierten, keilförmigen Knochenspanes in den Sinus tarsi zur Limitierung der vermehrten Eversion des Calcaneus und Dorsalisierung des nach ventral und medial subluxierten Talus. Im Gegensatz zur Technik nach Grice (1952) wird die Beweglichkeit des Subtalargelenkes nicht aufgehoben, sondern reduziert (Haraldsson 1962; Bernasconi et al. 2017).

LeLievre (1970) modifizierte diese Technik durch eine temporäre Arthrodesese des Subtalargelenkes mit einem lateral in den Talus und Calcaneus eingebrachten sog. *Staple* nach zuvor durchgeführter Implantation eines freien Knochenspanes in den Sinus tarsi. Der *Staple* wird nach vier Monaten entfernt und die limitierte Beweglichkeit des Subtalargelenkes wieder freigegeben. Er bezeichnet dies als „*Arthroereisis*“ und beschreibt in seiner Arbeit 80 in dieser Weise behandelte Patienten mit überwiegend „exzellenten“ Behandlungsergebnissen (LeLievre 1970; Bernasconi et al. 2017). Im Unterschied zu den bisher beschriebenen Verfahren, bei denen ein Knochenspan in den Sinus tarsi implantiert wird, verwendet Subotnick (1974) einen Silikonblock (Bernasconi 2017). Dieses individuell auf den Sinus tarsi des Patienten angepasste Implantat aus Silikon soll ohne Fixierung im Sinus tarsi die vermehrte Eversion des Calcaneus begrenzen ohne das Gelenk dauerhaft zu versteifen (Bernasconi 2017; Subotnick 1974).



Abbildung 8: erste veröffentlichte Röntgenaufnahme einer Arthrorise, vom Operateur als „perfect reduction by lateral arthroereisis with free graft“ bezeichnet (LeLievre 1970, lizenzfrei)

Die Weiterentwicklung des Verfahrens von Subotnick erfolgte durch Viladot im Jahr 1977 (Miller 2009). Um eine Dislokation der von lateral in den Sinus tarsi eingebrachten Implantate zu verhindern, entwickelte er ein Silikonimplantat, welches an die Form eines Weinglases erinnert. Der Fuß des Implantates spannt sich außerhalb der medialen Begrenzung des Sinus tarsi auf, um den kelchförmigen Kopf des Implantates im lateralen Anteil des Sinus tarsi zu fixieren. Durch die sich lateral aufweitende Form des Implantates wird die Valgusstellung des Subtalargelenkes reduziert (Miller 2009, Viladot 1992; Usulli und Montrasio 2012).

Im Gegensatz zu den Verfahren, welche die Gelenkbeweglichkeit des Subtalargelenkes durch im Sinus tarsi gelegene Implantate begrenzen, beschrieb Alvarez im Jahr 1970 die „Calcaneo-Stop-Technik“ zur Begrenzung der subtalaren Gelenkbeweglichkeit durch Einbringen einer Spongiosaschraube in den lateralen Anteil des Calcaneus (Abbara-Czardybon et al. 2014). Hierbei soll der Schraubenkopf lateral des Sinus tarsi am Processus lateralis tali die Innenrotationsbewegung des Talus auf dem Calcaneus begrenzen (De Pellegrin et al. 2014; Usulli und Montrasio 2012).

Auf Basis dieser ersten Implantate und Ergebnisse wurden in den folgenden Jahren eine Vielzahl von Implantaten in verschiedenen Formen und Werkstoffen für die subtalare Arthrorise entwickelt (Tabelle 2), die biomechanisch unterschiedlich auf die Fehlstellung einwirken (Miller 2009; Kirby 2011; Bernasconi et al. 2017).

Vogler (1987) teilte die verschiedenen Implantate für die subtalare Arthrorise nach ihrer biomechanischen Funktion in drei Gruppen ein.

Die *axis altering prosthesis* (achsverändernde Prothese) besteht aus einem aufrechtstehenden, im Boden des Sinus tarsi eingebrachten Stamm und einem nach cranial zum Processus lateralis tali ragendem Kopf (Vogler 1987). Der Druck gegen den Processus lateralis tali erweitert den lateralen Anteil des Sinus tarsi und rotiert die Calcaneuslängsachse aus der Eversionsstellung. Die Gelenkachse des Subtalargelenkes soll so aus der vermehrten Valgusposition in die Neutralposition überführt werden (Vogler 1987; Green et al. 2006; Miller 2009; Bernasconi et al. 2017).

Die *impact blocking device* (Anschlag blockierende Vorrichtung) ist im Aufbau der achsverändernden Prothese ähnlich, verändert jedoch durch die abgewandelte Lage des Prothesenkopfes zum Processus lateralis tali nicht die Gelenkachse (Vogler 1987). Der craniale Anteil der Prothese verhindert die Vorwärtsbewegung des Processus lateralis tali und damit die Innenrotation des Talus auf dem Calcaneus bei Belastung des Fußes. So wird ohne Veränderung der Gelenkachse ebenfalls die Valgusposition des Rückfußes begrenzt (Vogler 1987; Miller 2009; Bernasconi et al. 2017).

Mit dem Begriff der *self locking wedges* (selbstsichernde Keile) beschreibt Vogler (1987) die zwischen der vorderen und hinteren Gelenkfacette in den Sinus tarsi eingebrachten, oft kegelförmigen Implantate. Diese kombinieren die Funktion der vorgenannten Implantate durch die Erweiterung des Sinus tarsi und damit Veränderung der subtalaren Gelenkachse und begrenzen die Bewegung des Processus lateralis tali nach ventral und so die Rotation des Talus auf dem Calcaneus (Vogler 1987; Miller 2009; Bernasconi et al. 2017).

Abgesehen von der direkten Einwirkung der subtalaren Arthrorise auf die Fehlstellung des Fußes nimmt die Arthrorise indirekt Einfluss auf die Stellung des Fußes unter Belastung und in Bewegung. Die Arthrorise soll durch die aufgehobene Fehlstellung wachstumslenkend auf die Strukturen des Rückfußes einwirken und die Fehlstellung damit dauerhaft korrigieren. Auch werden der subtalaren Arthrorise Einwirkung auf die aktive Korrektur des Fußes zugeschrieben. Durch veränderte Propriozeption bei im Vergleich zum Ausgangsbefund vorgezogenem Endanschlag des Subtalargelenkes soll die aktive Korrektur des Rückfußvalgus durch Muskelzug des Musculus tibialis posterior gefördert werden (Abbara-Czardybon et al. 2013; Usuelli und Montrasio 2012).

Tabelle 2: historischer Kurzüberblick ausgewählter Implantate zur Arthrorise (Miller 2009)

Jahr	Entwickler/Chirurg	Implantatbezeichnung	Material
1946	Chambers	Knochenkeil	autologer Knochen
1962	Haraldsson	Knochenkeil	autologer Knochen
1970	LeLievre	Knochenkeil und <i>staple</i>	autologer Knochen/Edelstahl
1974	Subotnick	individuell geschnittener Silikonblock	Silastic
1976	Smith	STA-Peg	Polyethylen
1976	Valenti	Valenti-Zylinder	Polyethylen
1977	Viladot	Viladot- <i>Umbrella</i>	Silastic
1978	Samuelson	Samuelson-Zwei-Komponenten-Implantat	Polyethylen/Edelstahl
1979	Lanham	Modifizierte-Swanson-Prothese [®]	Silastic
1982	Addante	Addate- <i>Sphere</i>	Silastic
1983	Sgarlato	Sgarlato- <i>Mushroom</i>	Silastic
1984	Pisani	Kappenschraube n. Pisani	Silastic/Edelstahl
1985	Lundeen	modifizierter STA-Peg	Polyethylen
1985	Giannini	Giannini- <i>Expanding-Implant</i>	Teflon/Edelstahl
1999	Maxwell-Brancheau	MBA-Implantat [®]	Titan
2001	Giannini	Giannini- <i>Expanding-Implant</i>	Polylaktid
2003	Viladot	Kalix-Schraube [®]	Polyethylen/Edelstahl
2012	Preis	Vario Subtalar System [®]	Titan

1.5 Fragestellung

Das Vario Subtalar System[®] der Firma Normed[®] ist seit dem Jahr 2013 auf dem Markt und wird in der Aukammklinik Wiesbaden zur Therapie bei Patienten mit flexiblem, juvenilen Knickplattfuß zur subtalaren Arthrorise angewendet.

In dieser Dissertationsarbeit wird die Wirksamkeit der subtalaren Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] untersucht. Dazu wurden präoperativ und postoperativ angefertigte Röntgenbilder durch Erhebung von Winkeln ausgewertet. So kann die präoperativ bestehende Fehlstellung und das Ausmaß der durch eine subtalare Arthrorise erreichten Korrektur quantifiziert sowie die postoperativ korrigierte Stellung des Fußes objektiviert werden. Weiterhin werden der präoperative und postoperative klinische Befund im Hinblick auf bestehende Beschwerden und Funktionseinschränkungen mit der *Ankle-Hindfoot-Scale* der American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS-AHS) ausgewertet und Komplikationen dokumentiert. Die Ergebnisse werden mit bereits veröffentlichten Ergebnissen anderer Implantate verglichen und diskutiert.

1.6 Arbeitshypothesen

1.6.1 Arbeitshypothese I

Es wird angenommen, dass die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System® die Fehlstellung des kindlichen Knickplattfußes korrigiert. Dies würde durch eine Veränderung der am präoperativen Röntgenbild erhobenen Winkel im Vergleich zu dem am postoperativen Röntgenbild erhobenen Winkel zum Ausdruck kommen. Die präoperativ entsprechend der pathologischen Knicksenkfußstellung veränderten Winkel wären postoperativ entsprechend der physiologischen Fußstellung verändert.

Diesbezüglich wird erwartet, dass die am Röntgenbild durch zwei Untersucher in jeweils zwei Untersuchungsdurchgängen erhobenen Winkel als Ausdruck einer hohen Reliabilität der durchgeführten Messungen statistisch stark miteinander korrelieren.

1.6.2 Arbeitshypothese II

Es wird angenommen, dass die vorliegenden Untersuchungsergebnisse in Relation zu den Ergebnissen anderer bereits veröffentlichter Untersuchungen in Bezug auf die präoperative Fehlstellung, die intraoperative Korrektur und die postoperative Fußstellung vergleichbar sind.

1.6.3 Arbeitshypothese III

Es wird angenommen, dass die präoperativen Beschwerden durch die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System® reduziert sind. Weiterhin wird angenommen, dass die Knickplattfußstellung durch die subtalare Arthrorise in eine plantigrade Fußstellung mit regelrechtem Längsgewölbe und physiologischer Rückfußachse überführt wird. Dies wird durch die Veränderung der präoperativ und postoperativ erhobenen Punktwerte der AOFAS-AHS überprüft. Der präoperativ im Vergleich zu gesunden Probanden erniedrigte Punktwert der AOFAS-AHS sollte somit postoperativ signifikant höhere Punktwerte erreichen.

1.6.4 Arbeitshypothese IV

Es wird angenommen, dass die postoperativen Ergebnisse der Befragung mit AOFAS-AHS mit den Befragungsergebnissen bereits veröffentlichter Untersuchungen vergleichbar sind. Überprüft wird dies durch den Vergleich der im untersuchten Kollektiv ermittelten Punktwerte in Bezug auf einzelne Fragen der AOFAS-AHS und den kumulierten AOFAS-*Score* mit den in der Literatur veröffentlichten Punktwerten der AOFAS-AHS.

1.6.5 Arbeitshypothese V

Es wird angenommen, dass die Rate der peri- und postoperativen Komplikationen bei Anwendung des Vario Subtalar Systems® mit Komplikationsraten anderer Implantate vergleichbar ist und diese nicht übersteigt.

2 Material und Methoden

2.1 Einschlusskriterien

In dieser retrospektiven Untersuchung wurden die Aktendokumentation und Röntgenbilder von Patienten aus der Aukammklinik Wiesbaden ausgewertet. Der festgelegte Auswertungszeitraum umfasst das Zeitintervall von Januar 2013 bis Januar 2016. In diesem Zeitraum hat der Autor im Rahmen seiner Tätigkeit in der Aukammklinik die fußchirurgische Sprechstunde durchgeführt und die entsprechenden Dokumentationen angefertigt. Aus den digitalen Patientenakten der Klinik wurden alle im Untersuchungszeitraum behandelten Patienten mit symptomatischem, juvenilen Knickplattfuß und operativer Therapie durch subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] ausgewählt. Die präoperativ gestellte Diagnose muss dabei sowohl morphologisch durch eine körperliche Untersuchung als auch radiologisch durch am Röntgenbild in zwei standardisierten Ebenen erhobene, pathologisch veränderte Winkel nachgewiesen sein. Aus der Untersuchung wurden Akten von Patienten ausgeschlossen, bei denen eine Kombination verschiedener operativer Verfahren angewendet wurde oder ein nicht idiopathischer Knickplattfuß, zum Beispiel im Rahmen von zentralen Bewegungsstörungen oder systemischen Grunderkrankungen, vorlag.

2.2 Patientenakten und Methodik der Datenerhebung

Alle in diese retrospektive Auswertung eingeschlossenen Daten stammen aus den im Rahmen der standardisierten Patientenbehandlung angelegten Patientenakten in der Aukammklinik Wiesbaden.

Die Patientenakten umfassen neben den demographischen Daten, die durch den Autor selbstständig angefertigten Dokumentationen mindestens einer präoperativen Vorstellung in der fußchirurgischen Sprechstunde, einer Vorstellung vier Wochen nach erfolgter Operation zur Verlaufskontrolle und einer Vorstellung zur Nachuntersuchung drei Monate postoperativ. Darüber hinaus enthält die Patientenakte das Narkoseprotokoll mit biometrischen Daten am Operationstag sowie den Operationsbericht mit Dokumentation der verwendeten Implantate oder intraoperativ aufgetretenen Komplikationen. Aus der dem Narkoseprotokoll entnommenen Körpergröße und Körpergewicht lässt sich der Body-Mass-Index (BMI), als Relation von Körpergewicht zur Körpergröße ermitteln. Daraus können Hinweise über den Ernährungszustand der untersuchten Patienten abgeleitet werden. Hierzu wurde das Körpergewicht in Kilogramm durch das Quadrat der Körpergröße in Metern dividiert.

Die im Rahmen der Datenerhebung aus der Patientenakte verwendeten Angaben wurden durch den Autor pseudonymisiert. Jedem Patienten wurde eine fortlaufende Nummer und dem jeweiligen Fuß die Buchstaben „R“ für rechts und „L“ für links

zugewiesen. Die für die Untersuchung notwendigen Daten und Messwerte wurden den Pseudonymen tabellarisch zugeordnet.

Des Weiteren enthält die Patientenakte das Bildmaterial der standardisiert im Rahmen der Behandlung durchgeführten Röntgenuntersuchungen des Fußes vor Operation und zum Zeitpunkt einer dem Behandlungsstandard entsprechend durchgeführten Verlaufsuntersuchung vier Wochen nach subtalarer Arthrorise. Die digitalen Röntgenbilder wurden zum Zweck der Auswertung ebenfalls mit einer dem Patienten zugeordneten Nummer pseudonymisiert.

Nach Abschluss der Datenerhebung wurde die Zuordnung der Pseudonyme zu den Klarnamen der Patienten aufgehoben, so dass eine anonyme Auswertung der Daten erfolgte.

2.3 Behandlungsdokumentation und Untersuchungszeitpunkte

Die Behandlung des kindlichen Knickplattfußes beginnt in der Aukammklinik Wiesbaden durch Vorstellung der Patienten in der fußchirurgischen Sprechstunde. Dies erfolgt überwiegend durch Überweisung eines Arztes nach konservativer Vorbehandlung mit der Frage nach konservativer Weiterbehandlung oder zur Klärung einer Operationsindikation. Ebenfalls erfolgen Vorstellungen auf Wunsch der Eltern ohne bereits erfolgte wesentliche Vorbehandlung. In Abhängigkeit von bereits durchgeführter konservativer Therapie, klinischem Befund und Beschwerden wird über die weitere Therapie entschieden und gegebenenfalls die Indikation zur operativen Therapie mit subtalarer Arthrorise gestellt. In diese Untersuchung werden die Dokumentationen der Sprechstundenvorstellung vor Operation eingeschlossen und folgend als präoperativer Befund zum Zeitpunkt T1 oder der Befund abgekürzt mit „präop“ gekennzeichnet. Bei zunächst konservativem Therapieversuch und damit mehrfachen Sprechstundenvorstellungen vor Beginn der operativen Therapie wird die zuletzt vor Operation erhobene Sprechstundendokumentation in der Untersuchung berücksichtigt und als Zeitpunkt T1 gewertet.

Die Sprechstundendokumentation vor operativer Therapie beinhaltet die vollständige Anamnese des Patienten, die Erhebung des Funktions- und Beschwerdebildes der Füße durch Befragung des Patienten und der begleitenden Eltern sowie die Befunde einer nicht-apparativen Untersuchung der unbedeckten unteren Extremitäten im Stand und im Gang. Die berichteten Beschwerden und erhobenen Befunde am jeweiligen Vorstellungstermin werden in Form eines in deutscher Sprache validierten Fragebogens der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) erhoben und dokumentiert (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014). Im Rahmen dieser Vorstellung erfolgen ebenfalls Röntgenuntersuchungen des Fußes zur Darstellung und Quantifizierung der Fehlstellung.

Am Operationstag werden im Operationsbericht unter anderem das verwendete Implantat, die Implantatgröße und etwaige Komplikationen oder Schwierigkeiten bei der

Implantation dokumentiert. Der Zeitpunkt, an dem die subtalare Arthrorise durchgeführt wurde, wird in der vorliegenden Untersuchung als Operationstag oder mit T2 bezeichnet.

Die postoperative Nachbehandlung bis zum Abschluss der Wundheilung erfolgt in der Aukammklinik Wiesbaden in einer Verbandspprechstunde. Hier werden der Wundbefund, Schmerzen und mögliche Komplikationen dokumentiert.

Am Operationstag wird eine Vorstellung der Patienten zur postoperativen Verlaufskontrolle etwa vier Wochen nach Operation terminiert. Die Patientenakte beinhaltet für die Verlaufskontrolluntersuchung nach vier Wochen das Bildmaterial erneut durchgeführter standardisierter Röntgenuntersuchungen und die Dokumentation der Sprechstundenvorstellung. Diese umfasst die Erhebung des Funktions- und Beschwerdebildes der Füße und eine klinische Untersuchung der unbedeckten unteren Extremitäten im Stand und im Gang. Die Zeitpunkte der Messgrößen dieser Patientenvorstellung werden in der vorliegenden Untersuchung als postoperative Verlaufskontrolle, postoperativer Befund und T3 oder mit der Abkürzung „postop“ gekennzeichnet.

Eine abschließende Nachkontrolluntersuchung ist im Nachbehandlungsschema der Aukammklinik Wiesbaden drei Monate nach Operation vorgesehen. Zu diesem Termin werden die Patienten befragt und untersucht und die Ergebnisse erneut in Form des Fragebogens der American Orthopaedic Foot and Ankle Society dokumentiert (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014). Die der Patientenakte zu dieser Vorstellung entnommenen Daten werden in der vorliegenden Untersuchung als Nachuntersuchung mit dem Zeitpunkt T4, als „*follow-up*“ oder als Nachuntersuchungszeitpunkt bezeichnet.

In Tabelle 3 werden die Bezeichnungen der Untersuchungszeitpunkte und die der Patientenakte entnommenen Informationen im Überblick gezeigt.

Tabelle 3: Untersuchungszeitpunkte

T1	T2	T3	T4	Tx
präoperativer Befund	Befund am OP-Tag	Verlaufskontrolle	Nachuntersuchung	Beobachtungszeitraum ≥ 6 Mon. post OP
Vorstellung vor OP AOFAS Fragebogen Röntgenbild	Operationstag Röntgenbild	4 Wochen post OP Röntgenbild	3 Monate post OP AOFAS Fragebogen	
	Komplikationen	Komplikationen	Komplikationen	Komplikationen

2.4 Dokumentation mit der AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale

Die *Ankle-Hindfoot-Scale* (AHS) der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) ist ein international anerkannter und mittlerweile durch Kostuj et al. (2014) auch für die deutsche Sprache endgültig validierter Fragebogen (Tabelle 4) zur Objektivierung des klinischen Befundes und des Leistungsbildes bei Patienten mit Erkrankungen des Rückfußes (Kitaoka et al. 1994). Auch vor Validierung der AOFAS-AHS in deutscher Sprache wurde

die *Ankle Hindfoot Scale* der AOFAS sowohl in der vorliegenden Untersuchung als auch von anderen deutschsprachigen Autoren zur Erhebung des klinischen Befundes und der Beschwerden am Fuß und Sprunggelenk verwendet (Hintermann 1999; Baums et al. 2006). Abbara-Czardybon et. al. (2014) nutzen im deutschen Sprachraum als Erste die AOFAS-AHS zur Erhebung der Behandlungsergebnisse nach subtalarer Arthorise im Jahr 2002.

Der Fragebogen besteht aus neun Fragen zu den Oberthemen Schmerz, Funktion und Ausrichtung des Rückfußes deren Antworten mit unterschiedlichen Punktwerten bewertet werden. Maximal können 100 Punkte durch Addition der Punktwerte bei Vorliegen eines klinischen Normalbefundes ohne Achsenabweichung, Funktionseinschränkung oder Beschwerden erreicht werden (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014).

Die ersten vier Fragen sind an den Patienten und seine Eltern gerichtet und werden durch diese selbst ohne eine Bewertung des befragenden Untersuchers beantwortet. Der Patient wird nach anamnestischen Angaben zur Schmerzintensität und der Funktion des Rückfußes mit eventuellen Einschränkungen im Alltag, der maximalen Gehstrecke und Problemen beim Gehen auf verschiedenartigem Laufuntergrund befragt. Die Angabe zur Schmerzintensität hat, mit maximal 40 Punkten bewertet, den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis. Die weiteren fünf Fragen werden vom Untersucher beantwortet. Diese beziehen sich auf die Funktion des Rückfußes mit Gangauffälligkeiten, die Beweglichkeit der Rückfußgelenke in der sagittalen und koronaren Ebene sowie der Stabilität und Ausrichtung des Rückfußes. Den größten kumulierten Einfluss auf die Gesamtpunktzahl haben die Fragen und die Einschätzung der Funktion des Rückfußes mit maximal 50 erreichbaren Punkten in sieben Fragen. Die Angabe zur Ausrichtung des Rückfußes wird mit maximal zehn Punkten in einer Frage bewertet (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014).

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Ergebnisse der Befragung und Untersuchung entsprechend der AOFAS-AHS, die im Rahmen der üblichen Patientenvorstellungen entsprechend dem Behandlungsstandard der Aukammklinik Wiesbaden erhoben wurden ausgewertet. Bei der Anwendung der AOFAS-AHS wurden den Patienten und den begleitenden Eltern im Rahmen der Anamneseerhebung die ersten vier Fragen des Fragebogens gestellt. Bei Vorliegen von asymmetrischen Beschwerden oder Einschränkungen im Bereich beider Füße wurden die Patienten gebeten die Fragen für jeden Fuß separat zu beantworten. Die von dem Untersucher zu beantwortenden Fragen wurden ebenfalls separat für jeden Fuß beantwortet und eine AOFAS-AHS für jeden Fuß erhoben. Der kummulierte erreichte Punktwert für jeden Fuß wird in dieser Untersuchung als *AOFAS-Score* bezeichnet.

In dieser Untersuchung wird mit der AOFAS-AHS der *AOFAS-Score* präoperativ zum Untersuchungszeitpunkt T1 und drei Monate nach erfolgter Operation zum Untersuchungszeitpunkt T4 erhoben und für jeden behandelten Fuß separat bestimmt.

Tabelle 4: AOFAS-*Ankle-Hindfoot-Scale* aus Kostuj et al. (2014)

Schmerz	Punkte
1. Schmerz:	
Kein Schmerz	40
Leichter Schmerz	30
Mäßiger Schmerz	20
Stärkster Schmerz	0
Funktion	
2. Aktivitätseinschränkungen:	
Keine	10
Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten	7
Mäßige Einschränkungen in Alltag und Freizeit	4
Stärkste Einschränkungen in Alltag und Freizeit	0
3. Maximale Gehstrecke am Stück	
mehr als 600 Meter	5
zwischen 400 und 600 Meter	4
zwischen 100 und 400 Meter	2
weniger als 100 Meter	0
4. Laufoberflächen / Untergrund	
Keine Probleme auf jeglichen Oberflächen	5
Mäßige Probleme auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigung	3
Stärkste Probleme oder Unfähigkeit auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigungen zu gehen	0
5. Gangauffälligkeiten	
Keine oder geringe	8
Offensichtliche (Gehen möglich aber abnorm)	4
Deutliche (Gehen schwierig und abnorm)	0
6. Sagittale Bewegung (Dorsalextension plus Plantarflexion)	
Normal oder leichte Einschränkungen (30° oder mehr)	8
Mäßige Einschränkungen (15 – 29°)	4
Massive Einschränkungen (weniger als 15°)	0
7. Rückfußbewegung (Inversion plus Eversion)	
Normal oder leichte Einschränkungen (75 – 100% der Norm)	6
Mäßige Einschränkungen (25 – 74% der Norm)	4
Massive Einschränkungen (weniger als 25% der Norm)	0
8. Sprunggelenk-Rückfußstabilität - Stabil/Instabil (vordere Schublade, Varus-/Valgusstress)	
stabil	8
instabil	0
Ausrichtung	
9. Ausrichtung:	
Gut, Fuß plantigrad, keine Fehlstellung	10
Mäßig, Fuß plantigrad, leichte bis mittelschwere Fehlstellung	5
Schlecht, Fuß nicht plantigrad, starke Fehlstellung	0
Mögliche Gesamtpunkte:	
	100

2.5 Dokumentation von Komplikationen

Die im Rahmen der Behandlung mit der subtalaren Arthrorise aufgetretenen Komplikationen wurden in der vorliegenden Untersuchung evaluiert. Dabei wurden die intraoperativen von den postoperativen Komplikationen unterschieden.

Zur Erhebung von intraoperativen Komplikationen wurden die Operationsberichte aus den Patientenakten nach Abweichungen vom komplikationslosen, intraoperativen Operationsverlauf ausgewertet. Dabei wurden zum einen zur Arthrorise assoziierte Komplikationen, wie eine erschwerte Reposition der Fehlstellung oder eine erschwerte Implantation der Schraube, als auch Komplikationen mit Assoziation zum Operationszugang und dem Wundverschluss, wie eine vermehrte intraoperative Blutung oder eine erschwerte Präparation des Situs, erfasst. Die in den Operationsberichten

dokumentierten Komplikationen oder der komplikationslose intraoperative Verlauf wurden tabellarisch pseudonymisiert zusammengefasst.

Zur Dokumentation der postoperativ aufgetretenen Komplikationen wurden die Patientenakten mit der Dokumentation der üblichen Kontrolluntersuchungen und eventuell davon abweichenden Vorstellungen in der Sprechstunde ausgewertet. Postoperativ aufgetretene Schmerzen im Bereich der Füße bei alltäglicher Belastung wurden bis zur postoperativen Verlaufskontrolle (T3) in der Sprechstunde etwa vier Wochen nach Arthrorise als im Rahmen der Behandlung üblich bewertet. Schmerzen, die entsprechend der AOFAS-AHS von den Patienten als mäßig oder schwer bezeichnet wurden oder die Vollbelastung der operierten Extremität einschränkten und länger als vier Wochen nach Operation bestanden, wurden als prolongierte postoperative Schmerzen bewertet und als Komplikation dokumentiert. Das Ergebnis einer dann weiterführenden Diagnostik wurde ebenfalls in die Dokumentation aufgenommen.

Das Auftreten von Schmerzen bei gesteigerter Belastung, wie sportlicher Aktivität oder Gehstrecken über 1 km, wurde bis zur Kontrolluntersuchung (T4) etwa drei Monate nach stattgehabter Arthrorise als üblich im Rahmen der Nachbehandlung bewertet. Schmerzen bei gesteigerter Belastung länger als drei Monate nach subtalarer Arthrorise wurden ebenfalls als Komplikation dokumentiert und als „persistierend“ bezeichnet. Von den Patienten entsprechend der AOFAS-AHS als „leicht“ bezeichnete Schmerzen wurden als regelrechter postoperativer Verlauf angenommen.

Den Patienten wurde im Rahmen der abschließenden Vorstellung drei Monate nach Operation (T4) dem Behandlungsstandard der Aukammklinik Wiesbaden entsprechend mitgeteilt, dass sie sich bei Auftreten von Beschwerden oder subjektiver Befundveränderung kurzfristig vorstellen sollen. Die im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Komplikationen wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für einen Beobachtungszeitraum von mindestens sechs Monaten detektiert. Das Operationsdatum des im zeitlichen Verlauf zuletzt operierten Patienten war sechs Monate vor Ende des Untersuchungszeitraumes datiert. Bei den zuvor behandelten Patienten ist der Nachbeobachtungszeitraum von Komplikationen entsprechend auf eine maximale Beobachtungszeit von drei Jahren verlängert.

2.6 Übersichtsradiographie und Winkelbestimmung

Die standardisierte Röntgendiagnostik in der Aukammklinik Wiesbaden umfasst bei Patienten mit kindlichem Knickplattfuß die Röntgenaufnahme des belasteten Fußes im dorsoplantaren (d.p.) und im lateralen Strahlengang. Diese Röntgenbilder werden üblicherweise bei der ersten Vorstellung in der fußchirurgischen Sprechstunde (T1), am Operationstag (T2) und bei der Verlaufskontrolle vier Wochen nach erfolgter Operation (T3) angefertigt. Vor der Operation dienen die Röntgenbilder der Diagnosestellung, der Einteilung der Fehlstellung und der Indikation. Die am Operationstag angefertigten Röntgenbilder verifizieren die Implantatlage. Die Röntgenuntersuchung zur

Verlaufskontrolle, bei sicherer schmerzfreier Belastung des Fußes, dokumentieren im Vergleich mit den präoperativen Röntgenbildern die korrigierte Stellung des Fußes.

Alle in der vorliegenden Untersuchung ausgewerteten Röntgenbilder wurden im Rahmen der üblichen Patientenbehandlung unter Beachtung des Strahlenschutzes und Berücksichtigung von Paragraph 23 der Röntgenverordnung mit rechtfertigender Indikation angefertigt. In den präoperativ und postoperativ zur Verlaufskontrolle angefertigten Röntgenbildern werden der dorsoplantare, talocalcanare Winkel, der Talusbasisreferenzwinkel und der Calcaneusbodenwinkel gemessen, um mit den erhobenen Winkelgraden den präoperativen und postoperativen Befund vergleichen zu können. Die Winkel werden in den Abschnitten 2.6.3 bis 2.6.5 erläutert. Um den im Röntgenbild untersuchten Fuß in die vorliegende Untersuchung einzuschließen und die präoperativ bestehende Fehlstellung zu bestätigen, mussten mindestens zwei der untersuchten Winkel pathologisch veränderte Winkelgrade aufweisen und damit die Knickplattfußstellung radiologisch dokumentieren. Die pathologische Veränderung von lediglich einem der untersuchten Winkel führte zum Ausschluss aus der Untersuchung.

2.6.1 Radiologische Einstelltechnik

Bei der Röntgenaufnahme des belasteten Fußes im d.p. Strahlengang (Abbildung 9b) steht der Patient aufrecht mit leicht gebeugten Knien. Der zu untersuchende Fuß steht auf einer dem Fußboden aufliegenden Röntgenkassette, während der andere Fuß nach hinten versetzt steht. Der Patient wird aufgefordert das Körpergewicht auf den zu untersuchenden Fuß zu verlagern, ohne dabei das Knie und den Oberschenkel über den Fuß zu bringen. Der Zentralstrahl wird auf die Mitte des dritten Mittelfußknochens eingestellt. Die Richtung des Zentralstrahles ist dabei um 15° auf der Sagittalebene in caudaler Richtung gekippt. Der Fokus-Film-Abstand beträgt 105 cm (Nowak 2008). Um eine seitliche Abkipfung und damit fehlerhafte Abbildung des Fußes zu vermeiden, sollte die Längsachse des Unterschenkels auf einer Ebene mit dem Zentralstrahl liegen.

Auch bei der Röntgenaufnahme des belasteten Fußes im lateralen Strahlengang (Abbildung 9a) steht der Patient mit leicht gebeugten Kniegelenken. Der zu untersuchende Fuß steht dabei auf einer strahlendurchlässigen Unterlage vor der in 90° zur Fußbodenebene stehenden Röntgenkassette. Der nicht zu untersuchende Fuß steht nach dorsal versetzt. Der Patient wird aufgefordert das Körpergewicht soweit wie möglich auf den zu untersuchenden Fuß zu verlagern. Der Zentralstrahl wird senkrecht auf die Röntgenkassette und den Mittelpunkt der Fußwurzel ausgerichtet. Bei der Durchführung der Röntgenaufnahmen sollte der Untersucher großen Wert auf die korrekt durchgeführte Gewichtsverlagerung auf den zu untersuchenden Fuß legen. Die korrekte Gewichtsverlagerung kann durch eine komprimierbare Unterlage unter dem nicht zu untersuchenden Fuß überprüft werden. Ist diese Unterlage während der Lagerung des Patienten sichtbar komprimiert, wird das Gewicht nicht ausreichend auf den zu untersuchenden Fuß verlagert.

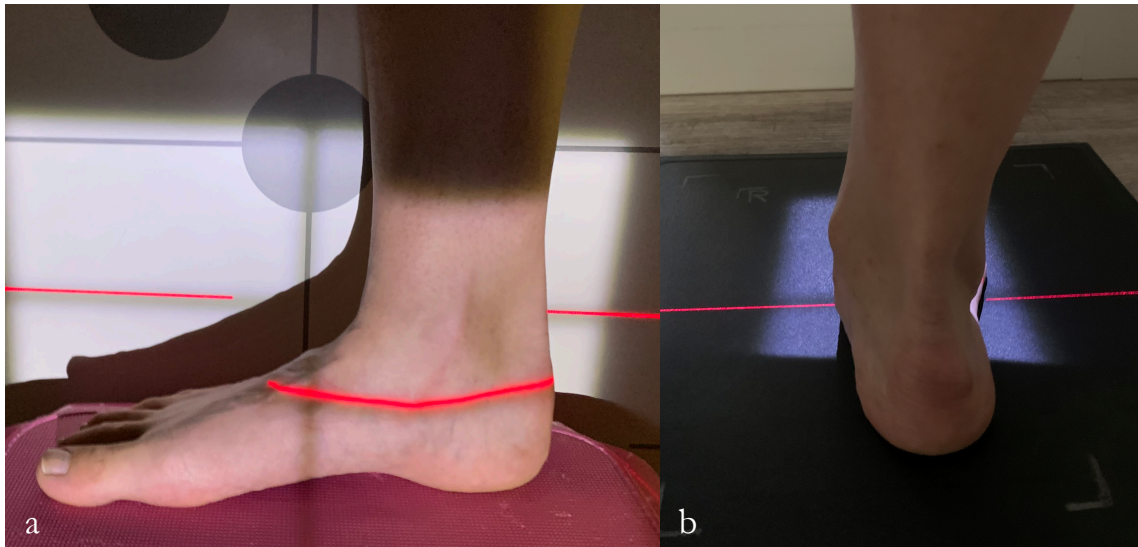


Abbildung 9: Einstelltechnik für das Röntgenbild im lateralen Strahlengang (a) und im dorsoplantaren Strahlengang (b)

2.6.2 Bildauswertung

Die Auswertung der pseudonymisierten Röntgenbilder erfolgte durch zwei gegeneinander verblindete Untersucher in jeweils zwei Untersuchungsdurchgängen. Die Röntgenbilder wurden im Format „*Digital Imaging and Communications in Medicine*“ (DICOM) pseudonymisiert gespeichert und mit der OsiriX[®] Betrachtungssoftware auf einem zur diagnostischen Befunderhebung zugelassenen Bildschirm dargestellt.

Die Auswertung erfolgte für beide Untersucher in gleichen Untersuchungsbedingungen mit zuvor festgelegten Messpunkten für die zu erhebenden Winkel. Jeder Untersucher markiert im Röntgenbild durch digitale Bildpunkte und deren Verbindung die Schenkel der zu erhebenden Winkel. Der Winkel wird dann von der Software ermittelt und in Winkelgraden dargestellt. Der Untersucher trägt diesen dann in eine vorgefertigte pseudonymisierte Tabelle ein. Die Messwerte werden mit einer Dezimalstelle ermittelt und dokumentiert. Um Reiheneffekte und Bestätigungsverzerrung zu reduzieren, werden die Röntgenbilder jedem Untersucher in zufälliger Reihenfolge zur Auswertung vorgelegt. Nach vollständigem Abschluss der ersten Auswertung folgte mit einer zeitlichen Latenz von zwei Tagen eine erneute Auswertung in geänderter, zufälliger Reihenfolge.

2.6.3 Calcaneusneigungswinkel

Der Calcaneusneigungswinkel (CP), Calcaneus-Boden-Winkel oder Englisch als *calcaneal pitch angle* bezeichnet, ist der Winkel zwischen der Calcaneuslängsachse und der Fußbodenebene und wird am Röntgenbild des Fußes im lateralen Strahlengang unter Belastung erhoben (Abbildung 10).

Die Calcaneuslängsachse entspricht einer caudal an den Calcaneus angelegten Tangente und die Fußbodenebene einer horizontal verlaufenden, dem Auftritt des Fußes

entsprechenden Linie. In dieser Untersuchung wird die Tangente an der plantarseitigen Calcaneuskontur durch die Verbindung des tiefsten am Tuber calcanei gelegenen Punktes und dem tiefsten Punkt der calcanearen Gelenkfläche des Calcaneocuboidalgelenkes gebildet. Kido (2019) hat für diese Variante der Markierung die höchste Reproduzierbarkeit ermittelt. Alternativ ist unter anderem der Winkelschenkel zwischen caudalem Pol der calcaneocuboidalen Gelenkfläche und dem Ansatz der Plantarfascie im Bereich der inferioren und anterioren Stufe am Tuber calcanei beschrieben. Die Verbindung des caudalen Poles am Tuber calcanei und der tiefsten Ausformung des fünften Mittelfußknochens im Bereich des Capitulum bildet einen horizontal verlaufenden Winkelschenkel. Dieser wird von einigen Autoren abweichend distal vom tiefsten Punkt des medialen Sesambeines oder als Linie parallel zur mit auf dem Röntgenbild abgebildeten Fußbodenebene beschrieben (DiGiovanni und Smith 1976; Perlman et al. 1996; Coughlin et al. 2013; Kido et al. 2020).

Der Calcaneusneigungswinkel beim gesunden Fuß beträgt in Abhängigkeit von den oben beschriebenen Varianten der Messung 17° bis 30° (DiGiovanni und Smith 1976). Auch Werte bis zu 10° werden von einzelnen Autoren als Normalwerte betrachtet (Wiesel 2015). Üblicherweise werden Werte unterhalb von 17° als radiologisches Maß für ein abgesenktes Längsgewölbe und als Hinweis auf eine vermehrte Rückfußversion bei der Knickplattfußstellung angesehen. Eine Calcaneusaufrichtung mit einem Calcaneus-Boden-Winkel über 30° findet man bei einer Hohlfußfehlstellung mit angehobenem Längsgewölbe. Der vermehrte Calcaneus-Boden-Winkel ist ein Hinweis auf eine vermehrte Calcaneusinversion welche im Röntgenbild im dorsoplantaren Strahlengang nachvollzogen werden kann (Aronson et al. 1983; Staheli et al. 1987; Vanderwilde et al. 1988; Gentili et al. 1996; Perlman et al. 1996; Lee et al. 2010; Waldt et al. 2011; Coughlin et al. 2013; Gutierrez et al. 2013; Kido et al. 2019).

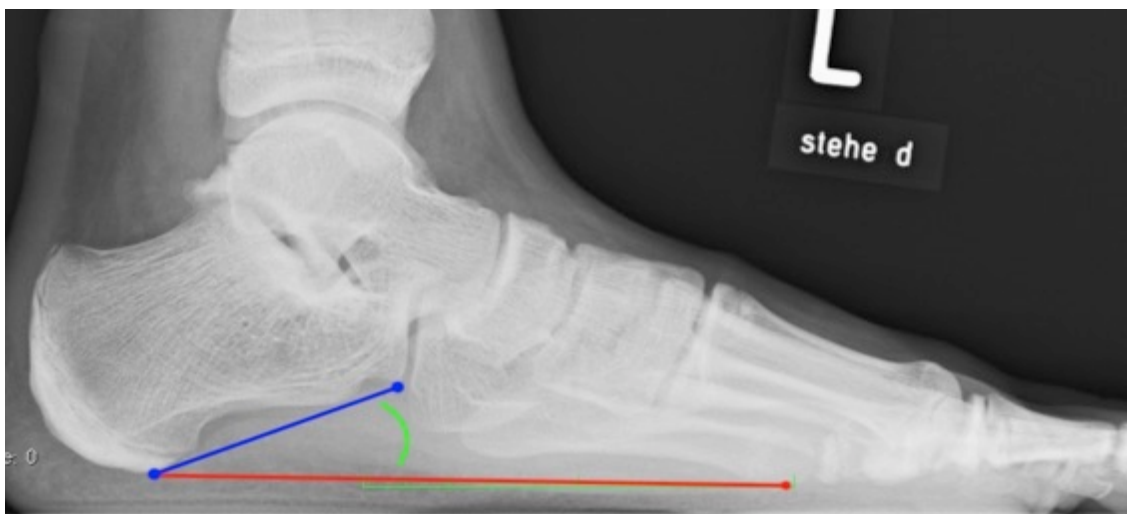


Abbildung 10: Bestimmung des Calcaneusneigungswinkels im seitlichen Strahlengang unter Belastung des Fußes, Tangente zur Bestimmung der Calcaneuslängsachse (blau) und Bodenebene (rot)

2.6.4 Talusbasisreferenzwinkel

Der Talusbasisreferenzwinkel (TD), auf Englisch auch als *talar declination angle* bezeichnet, ist der Winkel zwischen der Taluslängsachse und der Fußbodenebene (Abbildung 11). Die Fußbodenebene wird auch hier durch eine Linie zwischen tiefstem Punkt am Tuberculum calcanei und dem tiefsten Punkt unter dem Capitulum des 5. Mittelfußknochens gebildet. Die Taluslängsachse wird mit der höchsten Reproduzierbarkeit durch die Verbindung der streckenhalbierenden Punkte der Strecken zwischen höchster und tiefster Ausdehnung der talaren Gelenkfläche des talonavicularen Gelenkes und der Strecke zwischen höchstem Punkt des talaren Domes und der tiefsten Ausdehnung des Taluscorpus ermittelt (DiGiovanni und Smith 1976; Coughlin et al. 2013; Christman 2019; Kido et al. 2020). Davon abweichend werden unterschiedliche Arten zur Bestimmung der Taluslängsachse beschrieben und, wie vorangegangen für den Calcaneusneigungswinkel bereits beschrieben, die Fußbodenebene von verschiedenen Autoren abweichend von der hier verwendeten Methode bestimmt (Vanderwilde et al. 1988; Gentili et al. 1996).

Für den gesunden Fuß werden in der Literatur für den Talusbasisreferenzwinkel Ergebnisse zwischen 14° und 36° als Normalwerte betrachtet. Der Mittelwert wird von Waldt (2011) mit 21° angegeben. Der Talusbasisreferenzwinkel ist bei der Knickplattfußstellung durch die nach medial rotierte Subluxation des Talus und fehlende mediale Abstützung des Taluskopfes deutlich erhöht. Hier finden sich Werte über 35° . Bei vorliegender Hohlfußstellung ist die Talusinclination mit Messwerten unter 14° verringert (Aronson et al. 1983; Staheli et al. 1987; Vanderwilde et al. 1988; Gentili et al. 1996; Perlman et al. 1996; Waldt et al. 2011; Coughlin et al. 2013).

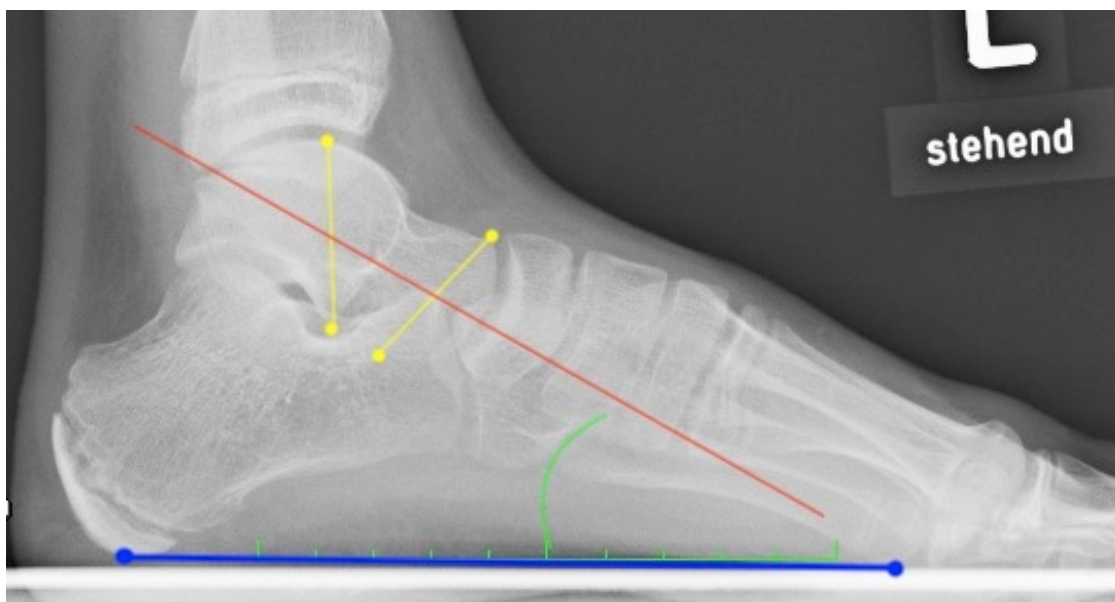


Abbildung 11: Bestimmung des Talusbasisreferenzwinkels im seitlichen Strahlengang unter Belastung des Fußes, Hilfslinien (gelb) zur Bestimmung der Talusachse (rot) und Bodenebene (blau)

2.6.5 Talocalcaneärer Winkel

Der Talocalcaneare Winkel (TC), oder Englisch als *talocalcaneal angle* bezeichnet, ist der Winkel zwischen der Taluslängsachse und der Calcaneuslängsachse und kann sowohl auf dem Röntgenbild mit lateralem Strahlengang als auch im Röntgenbild mit dorsoplantarem Strahlengang erhoben werden (Abbildung 12). Erstmals beschrieb Wisbrun (1932) den dorsoplantaren talocalcanearen Winkel zur Bestimmung der Rückfußstellung. Dieser Winkel wird jedoch überwiegend Kite (1930) im Zusammenhang mit den Ergebnissen über die Nachbeobachtung der Therapie von Klumpfüßen zugeschrieben (Ippolito et al. 2004; Kite 1930). In der vorliegenden Untersuchung soll der dorsoplantare talocalcaneare Winkel als Maß für die vermehrte Rückfußversion erhoben werden (Coughlin et al. 2013; DiGiovanni und Smith 1976; Ippolito et al. 2004; Wisbrun 1932).

Im Röntgenbild mit d.p. Strahlengang wird in dieser Untersuchung die Längsachse des Talus als Linie durch die streckenhalbierenden Punkte auf einer quer durch den Taluskopf und einer quer durch den Talushals verlaufenden Strecke markiert. Am Taluskopf wird dazu die weiteste Ausdehnung und am Talushals die kürzeste Ausdehnung als Strecke markiert (Gentili et al. 1996; Ippolito et al. 2004; Davids et al. 2005). Die Taluslängsachse wird abweichend von der in dieser Untersuchung angewendeten Methode von anderen Autoren unterschiedlich erhoben. Christman (2019) definiert die Taluslängsachse durch die Streckenhalbierenden Punkte von quer durch den Taluskopf und den Taluskorpus verlaufenden Strecken, während Coughlin et al. (2013) die Talusachse als rechtwinklige Gerade zu einer Strecke zwischen der medialen und lateralen Begrenzung der talaren Gelenkfläche am Talonaviculargelenk beschreiben. Überwiegend wird die Taluslängsachse ohne eindeutige Definition, als eine „*midtalar line*“, also eine längs durch den Talus verlaufende Linie beschrieben, ohne dabei Angaben zu anatomischen Landmarken zu machen (Bourdet et al. 2013; Hammer und Pai 2014).

Die Calcaneuslängsachse wird in dieser Untersuchung als Verbindung von zwei Punkten an der lateralen Begrenzung des Calcaneocuboidalgelenkes des Processus anterior calcanei und an der lateralen corticalen Begrenzung am Übergang des Processus anterior zum Tuber calcanei markiert (Gentili et al. 1996; Ippolito et al. 2004; Waldt et al. 2011; Kido et al. 2019). Alternativ zu dieser Methode wird die Calcaneuslängsachse als eine Linie, gebildet durch die Verbindung der Streckenhalbierenden quer durch das Tuber calcanei und den Processus anterior calcanei oder die Tangente zwischen lateraler calcaneärer Begrenzung des Calcaneocuboidalgelenkes und der lateralen corticalen Begrenzung des proximalen Tuber calcanei, in der Literatur beschrieben (Christman 2019). Auch in Bezug auf die Calcaneuslängsachse im d.p. Röntgenbild erfolgen in der Literatur oft keine Angaben über die verwendete Methode zur Erhebung der Achse (Bourdet 2013; Hammer und Pai 2014; Metcalfe et al. 2011; Vanderwilde et al. 1988).

Der talocalcaneare Winkel, auch Kite-Winkel genannt, quantifiziert die Rotation des Calcaneus gegenüber dem Talus. In der Literatur werden die Normalwerte für den Kite-

Winkel mit großen Differenzen zwischen den Autoren zwischen 10° und 55° angegeben. Die variierenden Angaben über die Normalwerte des talocalcanearen Winkels begründen sich überwiegend in den oben beschriebenen, unterschiedlichen Methoden der Winkelerhebung (Vanderwilde et al. 1988; Christman 2019). Radler (2010) gibt, für ein dem in dieser Untersuchung beobachteten Patientenkollektiv entsprechendes Kollektiv, einen mittleren Normwert von 23° mit einer Standardabweichung von 4° an.

Vanderwilde et al. (1988) beschreiben eine lineare Abnahme des Winkels im Verlauf der Fußentwicklung im Kindesalter. Die physiologische Knicksenkfußstellung mit vermehrter Rotation des Calcaneus unter dem Talus im Kleinkindalter zeige sich durch einen mittleren talocalcanearen Winkel von 42° im Alter von sechs Monaten. Mit zunehmender Fußentwicklung und damit einhergehender Derotation des Calcaneus unter dem Talus nimmt der im Röntgenbild gemessene talocalcaneare Winkel im Verlauf ab. Vanderwilde et al. (1988) geben diesen mit im Mittel 24° im Alter von neun Jahren an.

Messwerte von weniger als 15° gelten als Ausdruck einer Varusstellung des Rückfußes. Bei einer Knickplattfußstellung mit vermehrter Außenrotation des Calcaneus unter dem Talus und vermehrter Calcaneuseversion ist der dorsoplantare talocalcaneare Winkel größer als 35° (DiGiovanni und Smith 1976; Ippolito et al. 2004; Bourdet 2013; Waldt et al. 2011; Coughlin et al. 2013; Gutierrez et al. 2013).



Abbildung 12: Bestimmung des Talocalcanearwinkels in der dorsoplantaren Projektion, Taluslängsachse (rot) mit Hilfslinien am Taluskopf und Talushals (gelb), Calcaneuslängsachse (blau)

2.6.6 Dokumentation der Messwerte

Die drei oben beschriebenen Winkel wurden an den Röntgenbildern zum präoperativen Zeitpunkt T1 und zum Zeitpunkt der postoperativen Verlaufskontrolle T3 von zwei Untersuchern in jeweils zwei Messdurchgängen gemessen. Daraus ergeben sich für jeden Patienten 24 Messwerte in Winkelgraden. Die Messergebnisse der Winkelmessungen wurden mit der Abkürzung des entsprechenden Winkelnamens CP, TD und TC und den Präfixen „präop“ und „postop“ für den Zeitpunkt des Röntgenbildes bezeichnet. Den Untersuchern wurden die Messergebnisse mit den Buchstaben A und B und der Messdurchgang mit den Ziffern 1 und 2 für die redundanten Messdurchgänge zugeordnet. Als Beispiel wurde der durch den Untersucher B im zweiten Messdurchgang erhobene präoperative Calcaneusneigungswinkel mit „präopCPB2“ gekennzeichnet. Der durch Untersucher A im ersten Messdurchgang erhobene postoperative dorsoplantare Talocalcaneare Winkel wurde mit postopTCA1 gekennzeichnet. Alle erhobenen Winkel wurden in oben beschriebener Weise codiert und nach verblindeter Erhebung in einer Tabelle, wie in Abbildung 13 dargestellt, eingetragen.

	A	B		D	E	F		H	I	J	K
1	Patienten	präopCPA1	präopCPA2	präopCPB1	präopCPB2	postopCPA1	postopCPA2	postopCPB1	postopCPB2	präopTDA1	präopTDA2
2	1R	19,8						25,6	22,3	36,9	35,5
3	1L	14,3		20,3	18,5	22,1		16,5	17,5	40,2	41,1
4	2R	12,6		13,5	12,9			13,9	16,0	42,9	45,0
5	2L	15,6	14,4	14,4	15,0	16,7	16,0	20,2	18,9	38,6	36,6
6	3L	11,9	12,6	12,6	11,3	15,6	14,9	17,6	15,5	39,5	41,1
7	4R	8,9	10,8	8,0	6,8	11,7	12,5	12,8	11,6	38,5	36,1
8	4L	17,6	16,2	16,5	14,8	20,0	21,2	21,2	20,3	40,3	37,6
9	5R	15,4	14,5	14,2	12,6	18,4	19,5	17,2	18,4	37,4	36,5
10	5L	15,0	13,8	14,8	17,0	18,3	18,9	16,5	18,3	40,4	42,1
11	6R	14,8	12,8	13,9	11,9	17,2	18,8	16,5	17,1	39,6	40,1
12	6L	12,3	14,8	10,9	12,3	14,6	13,2	14,0	14,7	39,9	38,8
13	7R	18,9	21,7	19,8	21,7	22,3	21,2	21,8	22,2	41,7	40,0
14	7L	18,6	17,2	19,8	18,2	21,5	22,6	20,8	21,5	42,0	39,1
15	8R	16,9	15,8	16,2	15,4	19,4	20,9	18,4	19,2	36,9	33,1
16	8L	14,2	13,2	13,0	15,3	18,1	19,5	16,2	18,3	38,1	34,1

Abbildung 13: Dokumentation der Winkelgrade

2.7 Das Vario Subtalar System®

Das Vario Subtalar System® (Abbildung 14) besteht aus einem Sterilisationsieb in dem sowohl das Implantat in den zwei erhältlichen Größen als auch das benötigte Instrumentarium enthalten sind.

Das dreiteilige Implantat bildet einen konisch geformten Titanhohlkörper. Zwei gegenüberliegende Seiten des Konus sind stumpf abgesetzt und bilden parallele seitliche Ebenen mit Durchbrechung der Oberfläche in das Innere des Hohlkörpers. Die Spitze des

Konus fehlt und ist ebenfalls stumpf abgesetzt. Die seitliche Oberfläche des Körpers wird durch die mit einem rechtsdrehenden Feingewinde besetzten Konusflanken, im Folgenden auch Flügel genannt, gebildet. Die kreisförmige Basis des Konus bzw. Implantates wird durch die abgerundeten Konusflügel und eine dazwischenliegende rechteckförmige Schraubenmutter gebildet. Die Schraubenmutter ist auf eine in der Konusspitze gelagerte Sechskantschraube aufgedreht und durch die Konusflügel in ihrem Lauf auf dem Gewinde geführt. Durch Drehen der innenliegenden Sechskantschraube wird die Schraubenmutter in den Konus eingezogen. Betrachtet man die äußere Silhouette wird durch Drehung der Sechskantschraube die Konusbasis der Konusspitze angenähert und damit die Konusflanken auseinandergespreizt. Durch Drehung der innenliegenden Schraube können daher der Querschnitt auch der Längsdurchmesser des Konus verändert werden.



Abbildung 14: Vario Subtalar System® Fa. Normed®, (mit Genehmigung der Fa. Normed®)

Durch das aufliegende Gewinde kann das Implantat im queren Verlauf des Sinus tarsi positioniert werden. Durch Aufspreizen kann Einfluss auf den Vertikaldurchmesser des Sinus tarsi und damit auf die Aufrichtung des Talus genommen werden. Das Implantat ist in den Größen 10 – 13 mm und 13 – 16 mm verfügbar (Abbildung 15). Die Größenangaben beschreiben den Kreisdurchmesser der Konusbasis welche, wie oben angemerkt, variabel verändert werden kann.

Das Implantat des Vario Subtalar Systems®, die sogenannte „Vario-Schraube®“ ist entsprechend der Definition von Vogler (1987) ein „*self locking wedge*“ und kann durch den variablen Durchmesser der Implantatbasis im lateralen Anteil des Sinus tarsi die Anteversionsbewegung des Processus lateralis tali graduiert begrenzen. Des Weiteren soll

das Implantat durch die variable Aufspreizung der Flügel die Inklination des Talus in Bezug zum Calcaneus korrigieren und die vermehrte Eversion des Calcaneus begrenzen.

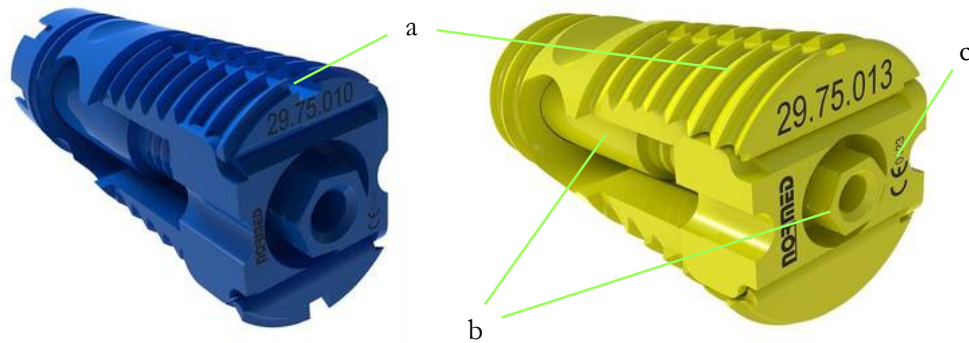


Abbildung 15: Vario-Schrauben[®] Größe 10 – 13 mm und 13 – 16 mm (a) Schraubenflügel mit Aussengewinde (b) Sechskantschraube (c) Schraubenmutter, (mit Genehmigung der Fa. Normed[®])

2.8 Die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®]

Die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] erfolgte in der Aukammklinik Wiesbaden üblicherweise im Rahmen eines ambulanten, operativen Eingriffes. In allen untersuchten Fällen wurde dieser in einer Allgemeinnarkose mit endotrachealer Intubation oder Beatmung durch Larynxmaske durchgeführt.

2.8.1 Operationstechnik

Während der Operation befindet sich der Patient in Rücklage auf einem Operationstisch, der zur intraoperativen Röntgendurchleuchtung der unteren Extremitäten geeignet ist. Neben der üblichen weichgepolsterten Lage des Patientenkörpers wird ein keilförmiges Kissen unter das Gesäß des Patienten eingebracht. Dies soll den zu operierenden Fuß nach innen rotieren und damit den Operationszugang erleichtern. Im Bereich des Oberschenkels wird eine Blutsperrmanschette angelegt und diese kurz vor Beginn der eigentlichen Operation druckgefüllt. Dann erfolgt die sorgfältige Hautdesinfektion des Fußes bis zum mittleren Drittel des Unterschenkels sowie das sterile Abdecken der unteren Extremität bis zum distalen Drittel des Unterschenkels. Auch bei unilateraler Korrekturoperation werden beide Beine steril abgewaschen und abgedeckt. Dadurch sind beide Füße für den Operateur zugänglich, um einen Seitenvergleich und eine symmetrische Korrektur zu ermöglichen. Der Operateur sitzt oder steht auf der Seite der zu operierenden Extremität seitlich des Rückfußes mit direkter Sicht auf das Operationsfeld. Zur Beurteilung der Rückfußachse kann der Operateur den Platz wechseln und aus Richtung der Fußsohlen den Fuß und den Unterschenkel in einer Achse betrachten.

Zunächst wird der *soft spot* über dem Sinus tarsi palpirt (Abbildung 16a). Hier erfolgt der Hautschnitt erfolgt über eine Länge von ca. 2 cm schrägverlaufend entlang den

Hautspaltlinien (Abbildung 16b). Mit einer kleinen Klemme wird im Verlauf des Zuganges stumpf auf die laterale Begrenzung des Sinus tarsi präpariert und diese dargestellt.

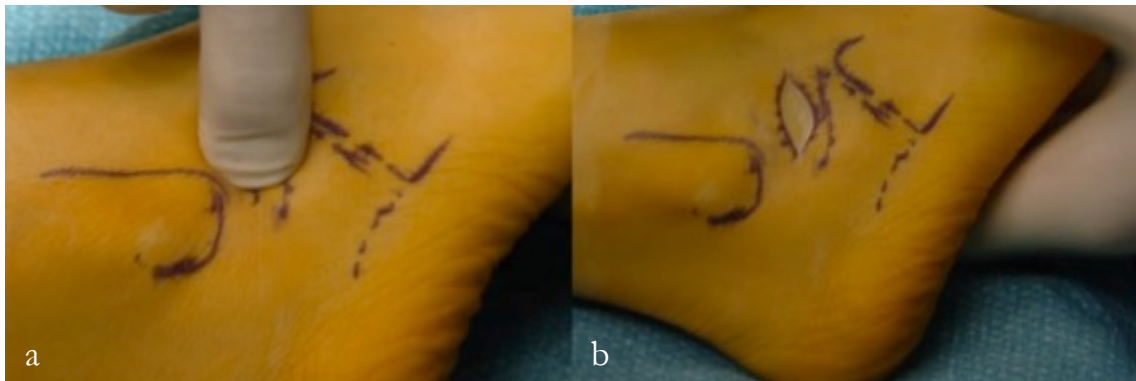


Abbildung 16: Operation I – Tasten des *soft spot* (a) und Hautschnitt (b)

Dann wird der Talus in eine invertierte Position überführt und ein Führungsdraht auf die Innenknöchelspitze zielend in den Sinus tarsi bis zu dessen medialer Begrenzung eingebracht. Die Position des Führungsdrahtes wird dann unter Röntgendurchleuchtung überprüft (Abbildung 17a). Nach Positionskontrolle wird über den Führungsdraht ein kanülierter Dilatator mit olivenförmiger Spitze in den Sinus tarsi eingebracht (Abbildung 17b). Dies soll den lateralen Eingang des Sinus tarsi eröffnen, um die folgenden Instrumente schonend einbringen zu können.

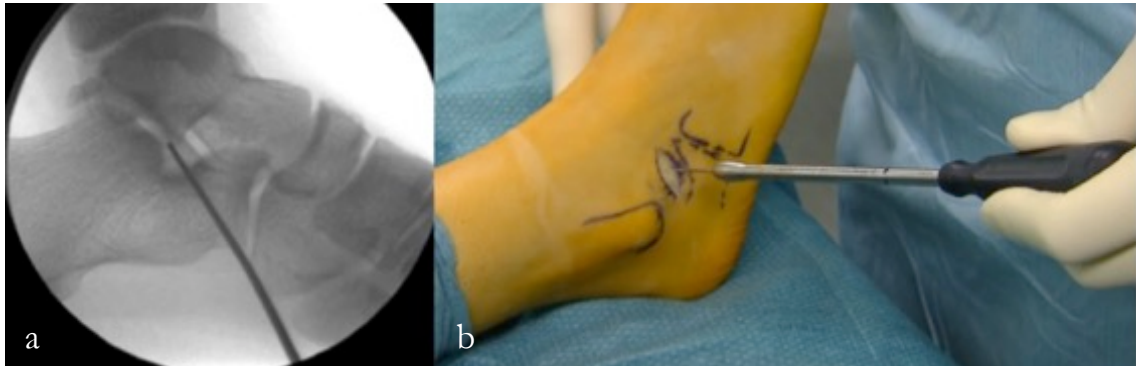


Abbildung 17: Operation II – radiologische Kontrolle mit regelrechter Lage des Führungsdrahtes (a) und Bougierung des Sinus tarsi (b)

Anschließend wird der Sinus tarsi unter radiologischer Kontrolle mit dem Bildwandler durch schrittweises Einbringen von Dilatatoren mit konisch geformten Spitzen in aufsteigenden 1 mm Schritten erweitert und damit die Fehlstellung stufenweise korrigiert (Abbildung 18). Die konisch geformten Spitzen entsprechen in ihrer Form und Größe dem Implantat mit unterschiedlich gespreizten Flügeln und sind entsprechend markiert. Ist die Fehlstellung des Fußes mit dem eingebrachten Dilatator in der radiologischen Kontrolle regelrecht korrigiert, kann die Größe des Implantates und der Grad der Spreizung als Durchmesser von dem zuletzt eingebrachten *Bougier*-Instrument abgelesen und als Zielgröße übernommen werden.

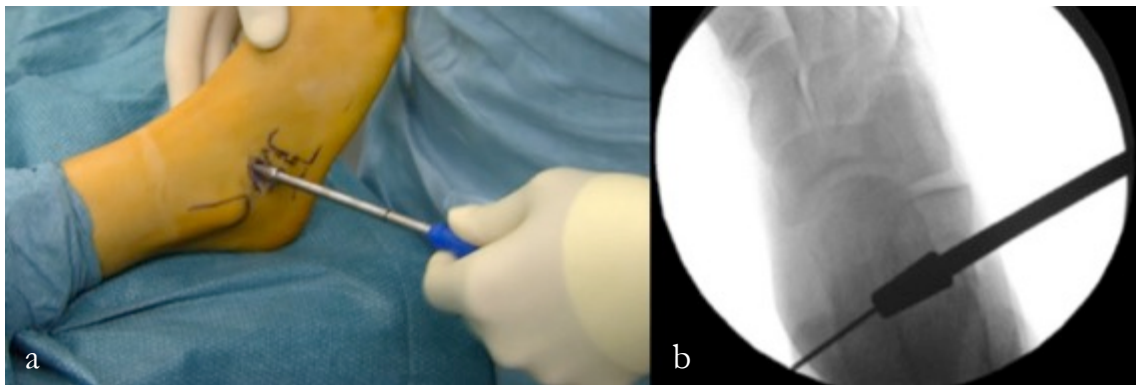


Abbildung 18: Operation III – Reposition mit Dilatator (a) und Repositionskontrolle (b)

Das Implantat wird nun in eine entsprechende Implantationshülse eingeklemmt und über den Führungsdraht in den Sinus tarsi eingeschraubt (Abbildung 19a) bis es unter radiologischer Kontrolle vollständig in den Sinus tarsi eingebracht ist. Die Rotation der Schraube im Sinus tarsi soll mit einem Schraubenflügel kopfwärts und einem Schraubenflügel sohlenwärts ausgerichtet sein. Dies kann mit korrespondierend am Griff der Implantationshülse mit abgeflachten Griffseiten kontrolliert werden (Abbildung 19b).

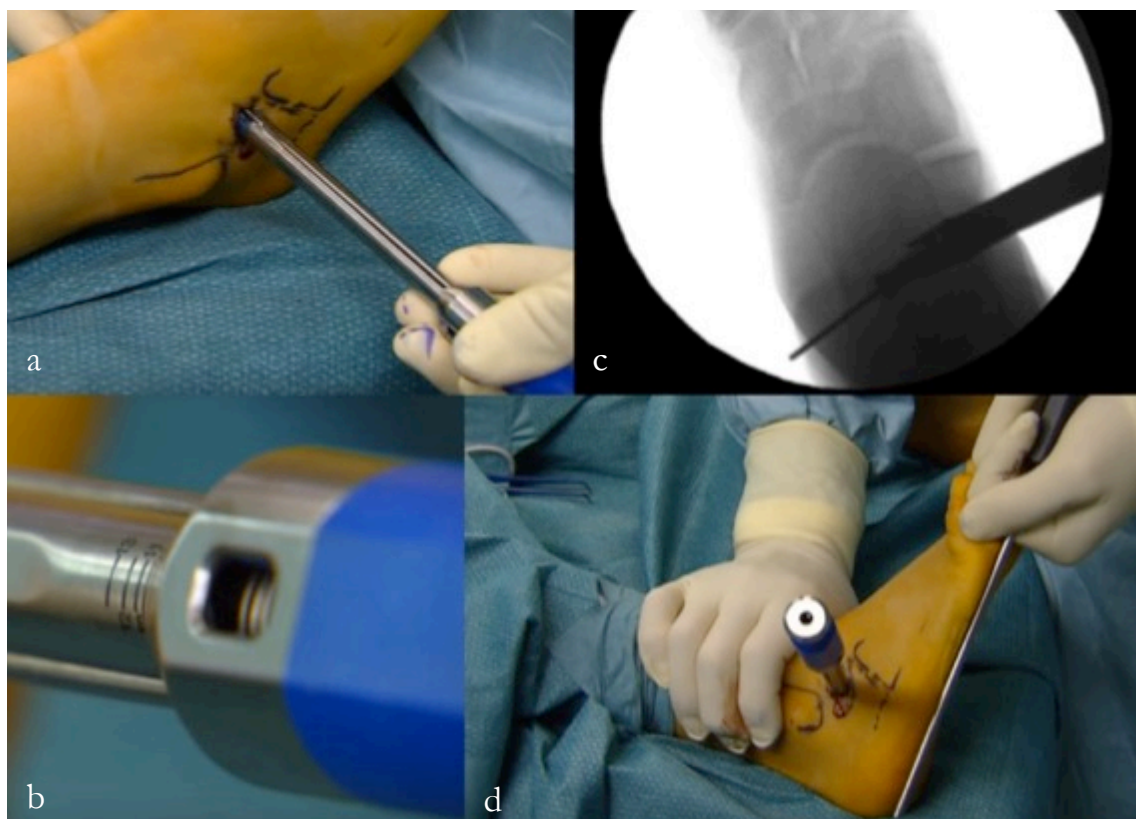


Abbildung 19: Operation IV – Einbringen (a) und Aufspannen (b) der Schraube, radiologische (c) und klinische (d) Kontrolle

In dieser Position wird das Implantat nun mit einem kanülierten Sechskantschraubendreher bis zur zuvor festgelegten Größe aufgespannt und das Repositionsergebnis radiologisch und klinisch kontrolliert (Abbildung 19c und 19d).

Abschließend wird die Wunde schichtweise verschlossen und ein steriler Verband angelegt.

2.8.2 Postoperative Nachbehandlung

Im Nachbehandlungsstandard der Aukammklinik Wiesbaden ist den Patienten die selbständige Mobilisation ohne Hilfsmittel bei voller Belastung der operierten Füße unmittelbar postoperativ erlaubt. Gegebenenfalls ist es bei stärkeren belastungsabhängigen Schmerzen notwendig, für einige Tage Gehstützen zu verwenden. Den Patienten wird empfohlen, während der Zeit der Wundheilung die Gehstrecken symptomabhängig einzuschränken und die Füße intermittierend hoch zu lagern. Das Nahtmaterial soll ab dem zwölften postoperativen Tag entfernt werden. Der Schulbesuch ist üblicherweise nach drei bis fünf Tagen uneingeschränkt möglich. Sportliche Betätigung soll für vier Wochen nach Operation pausiert und dann schrittweise, symptomabhängig gesteigert werden. Mit den Patienten werden am Operationstag die Verlaufskontrollen in der fußchirurgischen Sprechstunde nach vier Wochen und nach drei Monaten terminiert. Im Anschluss werden jährliche Kontrolluntersuchungen empfohlen.

2.9 Statistische Auswertung

Die Datenerfassung erfolgte mit dem Programm Microsoft® Excel®. Dazu wurden für die in die Untersuchung eingeschlossenen Patientendaten pseudonymisierte Tabellen erstellt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket IBM® SPSS®-Statistics Version 26.0.

2.9.1 Untersuchungen zu den Daten aus der Patientenakte

Die den Patientenakten entnommenen demographischen und biometrischen Patientendaten sowie Daten zu den verwendeten Implantaten und die Untersuchungszeitpunkte wurden deskriptiv ausgewertet. Für die stetigen Variablen wie Alter, Körpermaße am OP-Tag, BMI und Zeit von Operation zur Verlaufskontrolle wurden die Kennzahlen mit Angabe von Minimum und Maximum, dem arithmetischen Mittelwert, dem Median und der Standardabweichung berechnet und angegeben. Für die kategorialen Variablen wie Geschlecht oder verwendete Implantatgröße wird die absolute Häufigkeit und die Häufigkeit in Prozent angegeben.

Der Mittelwert errechnet sich aus der Summe der Einzelwerte mit anschließender Division durch die Anzahl der addierten Werte. Der Median ist der Wert in der Mitte der eingeschlossenen Variablen. Jeweils 50% der Variablen liegen oberhalb und 50% der Variablen liegen unterhalb des Median. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Variablen.

2.9.2 Untersuchungen zu den Winkelmessungen

2.9.2.1 Untersuchung der Reliabilität der Winkelmessungen

Für die erhobenen Winkelgrade, als stetige Variable, wurde die Urteilsübereinstimmung, oder *Intrarater*-Reliabilität, und die Urteilerübereinstimmung, oder *Interrater*-Reliabilität, mit der Pearson-Korrelation berechnet. Diese berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

Die Pearson-Korrelation ist ein Maß für den linearen Zusammenhang von zwei Variablen. In der vorliegenden Untersuchung sind dies die Messwerte der redundanten Winkelmessungen eines Untersuchers oder die Messwerten der verschiedenen Untersucher. Die Variablen können negativ, mit einem Korrelationskoeffizienten $r < 0$, oder positiv, mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0$, miteinander korrelieren. Bei vollständiger Übereinstimmung der erhobenen Messwerte ergäbe sich mit der Pearson Korrelation eine Reliabilität von $r = 1$. Ein positiver Korrelationskoeffizient bedeutet einen gleichgerichteten Zusammenhang der gefundenen Messwerte und würde in dieser Untersuchung einen Zusammenhang der durchgeführten Winkelmessungen bedeuten. Je größer der Korrelationskoeffizient r ist, desto größer ist die Übereinstimmung der erhobenen Messwerte für den gleichen Winkel des jeweiligen Untersuchers und der Messwerte für den gleichen Winkel beider Untersucher miteinander. Eine Korrelation mit einem Koeffizienten $r < 0,5$ wird als schwache Korrelation bezeichnet. Bei einem Korrelationskoeffizienten r zwischen 0,5 und 0,8 wird die Korrelation als mittelstark und bei einem Koeffizienten von $r > 0,8$ die Korrelation als stark bezeichnet (Fahrmeir et al. 2016). Der zum Korrelationskoeffizienten ausgegebene p-Wert beschreibt die Signifikanz mit der sich r von Null unterscheidet.

Es wurden die für die *Intrarater*- und *Interrater*-Reliabilität zu untersuchenden Messwerte entsprechend benannt und Messpaare gebildet (Tabelle 5). Die *Intrarater*-Reliabilität wurde mit den Messergebnissen der beiden Messdurchgänge der Untersucher A oder B für alle zwölf Messpaare berechnet. Die *Interrater*-Reliabilität untersucht die Ergebnisse der Winkelmessungen von beiden Untersuchern an ebenfalls allen zwölf Messpaaren. Die berechneten Korrelationskoeffizienten wurden deskriptiv ausgewertet um die mittlere *Intrarater*- und *Interrater*-Reliabilität sowie die Extremwerte anzugeben.

Tabelle 5: Messpaare *Intrarater-* und *Interrater-*Reliabilität

Winkel	<i>Intrarater</i>	<i>Interrater</i>
Calcaneusneigungswinkel präoperativ (präopCP)	A1 mit A2 B1 mit B2	A1 mit B1 A2 mit B2
Calcaneusneigungswinkel postoperativ (postopCP)	A1 mit A2 B1 mit B2	A1 mit B1 A2 mit B2
Talusbasisreferenzwinkel präoperativ (präopTD)	A1 mit A2 B1 mit B2	A1 mit B1 A2 mit B2
Talusbasisreferenzwinkel postoperativ (postopTD)	A1 mit A2 B1 mit B2	A1 mit B1 A2 mit B2
Talocalcaneareinkel präoperativ (präopTC)	A1 mit A2 B1 mit B2	A1 mit B1 A2 mit B2
Talocalcaneareinkel postoperativ (postopTC)	A1 mit A2 B1 mit B2	A1 mit B1 A2 mit B2

2.9.2.2 Deskriptive Auswertung der Winkelmessungen

Die Messwerte der Winkelmessungen wurden deskriptiv ausgewertet. Für alle eingeschlossenen Patienten wurde dazu der arithmetische präoperative und postoperative Mittelwert der jeweiligen Winkelmesswerte von beiden Untersuchern gebildet. Als Beispiel ist hier die Formel für den Mittelwert des präoperativen Calcaneusneigungswinkels für das Patientenpseudonym Patient 1L dargestellt:

$$(\text{Pat1LpräopCPA1} + \text{Pat1LpräopCPA2} + \text{Pat1LpräopCPB1} + \text{Pat1LpräopCPB2}) / 4 = \bar{x} \text{ Pat1LpräopCP}$$

Allen pseudonymisierten Patienten können so drei gemittelte präoperative Winkel und drei gemittelte postoperative Winkel zugeordnet und Extremwerte für jeden Winkel im gesamten Kollektiv ermittelt werden.

Zur Berechnung der mittleren präoperativen und postoperativen Winkelgrade für Calcaneusneigungswinkel, Talusbasisreferenzwinkel und Talocalcaneareinkel des gesamten Patientenkollektivs, wurden zunächst die Mittelwerte für die einzelnen Messdurchgänge beider Untersucher mit Messwerten von allen Patienten des Kollektivs in Bezug auf einen Winkel gebildet. Als Beispiel ist hier die Formel für den präoperativen Calcaneusneigungswinkel des ersten Messdurchganges von Untersucher A dargestellt:

$$(\text{Pat1RpräopCPA1} + \text{Pat1LpräopCPA1} + \text{Pat2RCPA1} \dots \dots \text{Pat27LCPA1}) / 49 = \bar{x} \text{ CPA1}$$

Aus den Mittelwerten der einzelnen Messdurchgänge wurde dann der Mittelwert aller Messdurchgänge errechnet. Als Beispiel errechnet sich der mittlere präoperative Talocalcaneareinkel des gesamten Kollektivs nach der Formel:

$$\bar{x} \text{ präopTCA1} + \bar{x} \text{ präopTCA2} + \bar{x} \text{ präopTCB1} + \bar{x} \text{ präopTCB2} = \bar{x} \text{ präopTC}$$

Der mittlere präoperative Talocalcaneareinkel des gesamten Kollektivs wurde ohne Angabe von Untersucher oder Messdurchgang als präopTC bezeichnet.

Darüber hinaus wurde für alle sechs Winkel die Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert und der Median der gesamten Messwerte bezogen auf die einzelnen Winkel berechnet.

2.9.2.3 Statistische Auswertung der Winkelmessungen

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Varianzanalyse der erhobenen Messwerte in Winkelgraden im präoperativen und postoperativen Röntgenbild durchgeführt. Dabei wird der Einfluss der kategorialen Variable, in dieser Untersuchung der Zeitpunkt der Röntgenuntersuchung vor und nach durchgeführter subtalarer Arthrorise auf die abhängige Zielvariable, in dieser Untersuchung die Messwerte der Winkelmessungen untersucht.

Der statistische Vergleich der erhobenen Messwerte der Winkelmessungen zu zwei Zeitpunkten erfolgte mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen mit dem Statistikprogramm SPSS®. Die verwendete Varianzanalyse wird als *rmANOVA*, aus dem Englischen für *repeated measures analysis of variance*, bezeichnet. Bei der Betrachtung von Messwerten zu verschiedenen Zeitpunkten handelt es sich um voneinander abhängige Variablen. Es wurde daher bei der Auswertung mit einer ANOVA für Messwiederholungen der Intra-Subjekt-Faktor berücksichtigt.

Zur Anwendung einer ANOVA müssen die Modellvoraussetzungen erfüllt sein. Eine davon ist die gegebene Sphärizität, also die Gleichheit der Varianzen der Messwertdifferenzen der Messpaare. Diese kann bei dem Vergleich von zwei Messwerten als gegeben angenommen werden. Weitere Voraussetzungen für die Anwendung einer ANOVA sind die bestehende Varianzhomogenität der überprüften Messwerte und die Normalverteilung der Residuen. Auf die Überprüfung der Varianzhomogenität mit dem Levene-Test konnte bei fehlender Anwendung von Kontrollvariablen verzichtet werden. Die Normalverteilung der Residuen wurde durch den Shapiro-Wilk-Test überprüft.

Bei Nichterfüllung der Modellvoraussetzungen für die Anwendung einer ANOVA, zum Beispiel bei Verletzung der Normalverteilung der Residuen wurde, zur Überprüfung der Ergebnisse der ANOVA, die Signifikanz der Differenz zwischen den gemessenen Werten vor und nach durchgeführter Operation mit dem Wilcoxon-Test berechnet, da dieser unempfindlich gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung ist.

2.9.3 Untersuchung der Ergebnisse der AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale

Der klinische Untersuchungsbefund des Rückfußes und die geklagten Beschwerden wurden mit der AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale untersucht und präoperativ und postoperativ ein AFOAS-Score in Punktwerten ermittelt. Die Ergebnisse wurden zunächst deskriptiv, wie oben beschrieben, ausgewertet. Dazu wurden jeweils zu den Zeitpunkten T1 und T4 der Mittelwert und der Median sowie die Standardabweichung und die Extremwerte der erhobenen Punktwerte ermittelt.

Die Differenz der Punktwerte zu den verschiedenen Zeitpunkten wurde in dieser Untersuchung statistisch ausgewertet. Dazu wurde, wie in Kapitel 2.9.2.3 für die Winkelmessungen beschrieben, eine Varianzanalyse für Messwiederholungen mit voneinander abhängigen Werten durchgeführt. Bei Verletzung der Normalverteilung der Residuen und damit nicht gegebenen Modellvoraussetzungen wurden die Ergebnisse mit dem Wilcoxon-Test überprüft.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung des eingeschlossenen Patientenkollektives

Insgesamt wurden Behandlungsdokumentationen von 27 Patienten mit 49 operativ behandelten Füßen in die retrospektive Auswertung eingeschlossen (Tabelle 6).

Das untersuchte Kollektiv umfasst Patientenakten von 17 männlichen und 10 weiblichen Patienten. Das entspricht einem Anteil von 63% männlicher und 37% weiblicher Patienten. Das mittlere Alter der Patienten am Operationstag beträgt 12,7 Jahre und der Altersmedian 13 Jahre mit einer Standardabweichung von 1,6 Jahren. Die jüngste weibliche Patientin ist am Operationstag 10 Jahre und die älteste Patientin 13 Jahre alt. Das mittlere Alter der weiblichen Patienten beträgt 11,6 Jahre und der Altersmedian 11 Jahre. Der jüngste männliche Patient ist zum Zeitpunkt der Operation 10 Jahre und der älteste Patient 16 Jahre alt. Das mittlere Alter der männlichen Patienten beträgt 13,3 Jahre und der Altersmedian 14 Jahre. Die Altersverteilung der untersuchten Patienten wird in Abbildung 20 grafisch wiedergegeben.

Tabelle 6: Auswertung der Geschlechterverteilung

Geschlecht		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Männlich	17	63,0	63,0	63,0
	Weiblich	10	37,0	37,0	100,0
	Gesamt	27	100,0	100,0	
Fehlend		0	0		
Gesamt		27	100,0		

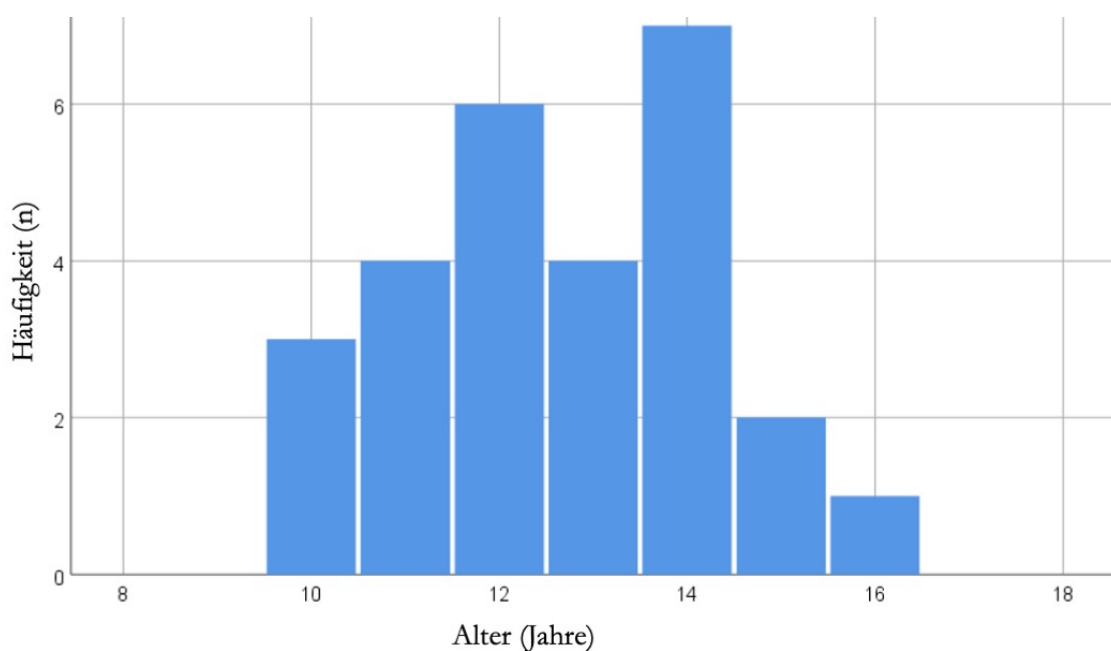


Abbildung 20: Alter am Operationstag

Die mittlere Körpergröße der untersuchten Patienten beträgt 157,2 cm und im Median 159 cm. Der größte Patient hat eine Körpergröße von 173 cm und der kleinste Patient eine Körpergröße von 143 cm. Die mittlere Körpergröße der männlichen Patienten beträgt 158,9 cm und der Median der Körpergröße 159 cm. Die Körpergröße der weiblichen Patienten am Operationstag beträgt minimal 142 cm und maximal 164 cm. Die mittlere Körpergröße der weiblichen Patienten beträgt 154,1 cm und der Median 155 cm. Die Häufigkeitsverteilung der Körpergröße im untersuchten Kollektiv wird in Abbildung 21 grafisch dargestellt.

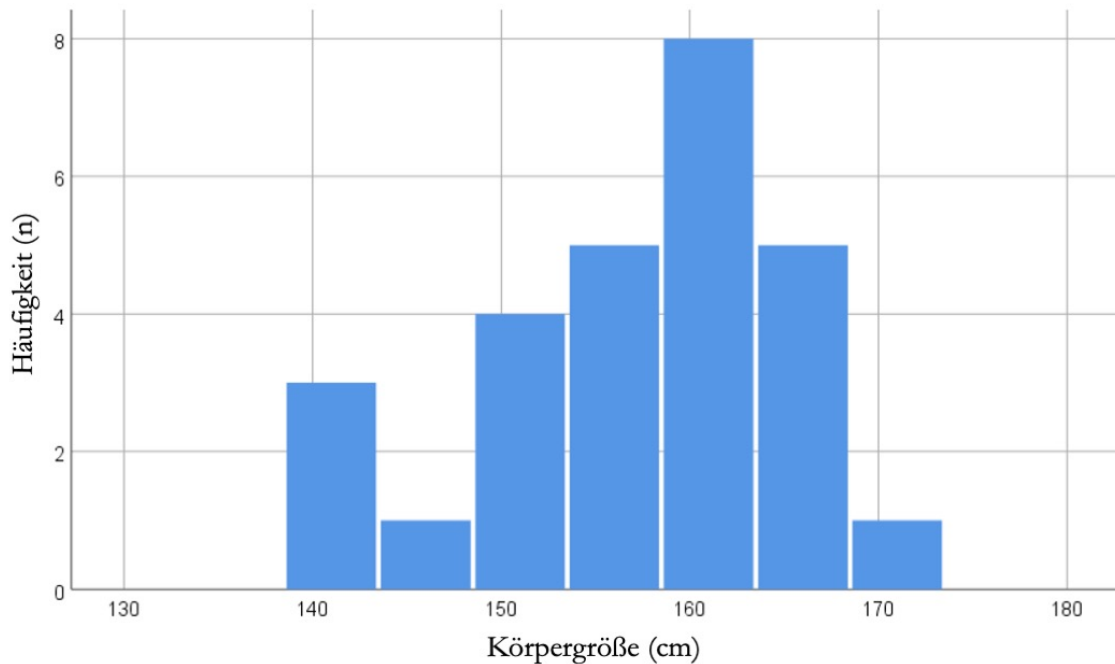


Abbildung 21: Körpergröße am Operationstag

Das mittlere Körpergewicht der Patienten beträgt 48,41 kg. Der Median beträgt 50 kg Körpergewicht. Bei den männlichen Patienten beträgt das geringste Körpergewicht am Operationstag 34 kg und das höchste Körpergewicht 57 kg. Das mittlere Körpergewicht der männlichen Patienten beträgt 48,5 kg und der Gewichtsmedian 50 kg. Bei den weiblichen Patienten ist zum Operationstag das mittlere Körpergewicht 47,9 kg und der Gewichtsmedian 50 kg. Die leichteste Patientin hat ein Körpergewicht von 35 kg und die schwerste Patientin ein Körpergewicht von 57 kg.

Im untersuchten Patientenkollektiv beträgt der mittlere BMI 19,5 kg/m² bei einem Minimum von 15,1 kg/m² und einem Maximum von 23,6 kg/m². Der mittlere BMI der weiblichen Patienten beträgt 19,1 kg/m² und 20,1 kg/m² bei den männlichen Patienten. In Abbildung 22 wird die Häufigkeitsverteilung des BMI am Operationstag grafisch dargestellt.

Bei 22 Patienten wurde der Eingriff an beiden Füßen und bei fünf Patienten an einem Fuß durchgeführt. Insgesamt wurden 24 rechte Füße und 25 linke Füße operativ korrigiert. Bei allen Patienten erfolgte der Eingriff als ambulante Behandlung.

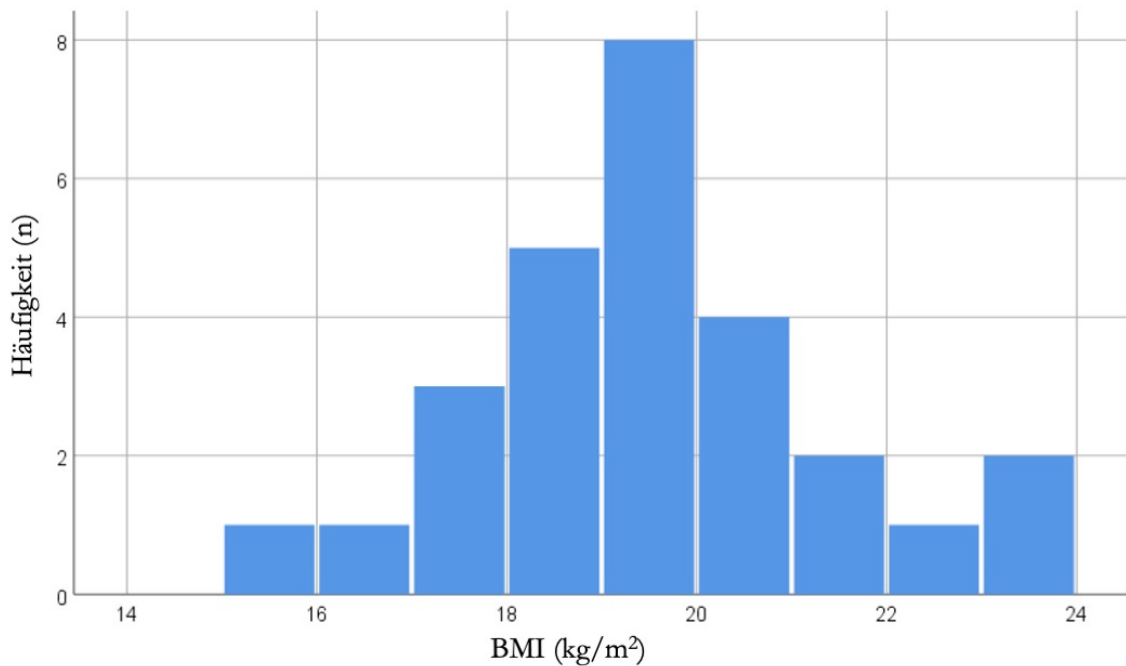


Abbildung 22: BMI am Operationstag

3.2 Auswertung der Zeitintervalle

Die Auswertung der Zeit zwischen Operationstag und Zeitpunkt der im Rahmen der Verlaufskontrolluntersuchung (T3) angefertigten Röntgenaufnahme ergibt eine mittlere Dauer von 30 Tagen mit einer Standardabweichung von 1,95 Tagen und einem Median von 30 Tagen (Tabelle 7). Die kürzeste Zeit zwischen Operation und radiologischer Verlaufskontrolle beträgt 27 Tage. Die längste Zeit bis zur Verlaufskontrolle beträgt 34 Tage.

Im Rahmen der Nachuntersuchungen (T4) etwa drei Monate postoperativ wurde das klinische Ergebnis mit der AOFAS-AHS ausgewertet (Tabelle 7). Die mittlere Zeit vom Operationstag bis zur Verlaufskontrolle beträgt 89 Tage mit einer Standardabweichung von 3,16 Tagen und einem Median von 90 Tagen. Die kürzeste Zeit bis zur Nachuntersuchung beträgt 84 Tage und die längste Zeit beträgt 97 Tage.

Tabelle 7: deskriptive Auswertung der Zeitdauer bis zu der postoperativen Verlaufskontrolle und bis zur Nachuntersuchung in Tagen

Zeitdauer	N		Mittelwert	Median	Standardabweichung	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend					
Postoperative Kontrolle T3	49	0	30	30	1,95	27	34
Nachunter- suchung T4	49	0	89	89	3,16	84	97

Die Abbildung 23 gibt die Verteilung der Zeitintervalle von der Operation bis zur postoperativen Kontrolle (T3) und der Nachuntersuchung (T2) in Form von Box-Plots

wieder. Auf der vertikalen Achse ist die Zeitdauer in 20-Tage-Schritten skaliert wiedergegeben. Um den mit schwarzer horizontaler Linie gekennzeichneten Median ist in blau gefärbter Box das untere Quartil (25%-Perzentil) und das obere Quartil (75%-Perzentil) markiert. Oberhalb und unterhalb der Box markieren die *Whisker* den 1,5-fachen Interquartilsabstand. Ein Messwertausreisser (97 Tage) für die Zeit bis zur Nachkontrolle wird innerhalb des dreifachen Interquartilsabstands mit einem Kreis gekennzeichnet.

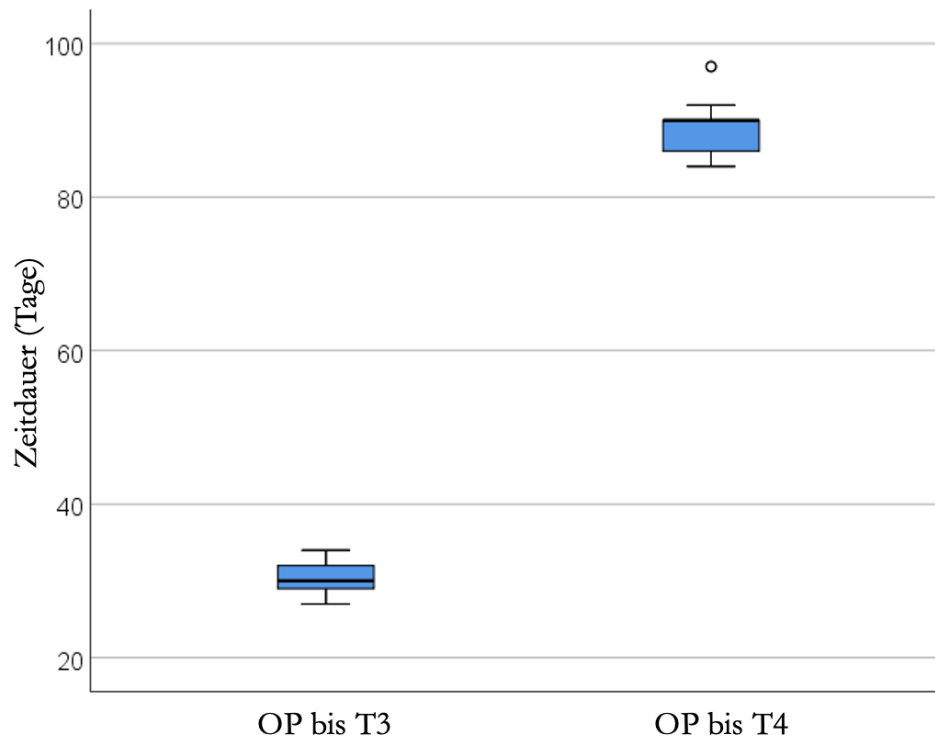


Abbildung 23: Verteilung der Zeitdauer von der Operation bis zur postoperativen Kontrolle (T3) und Nachuntersuchung (T4) in Tagen, *Box-Plots* neben einem Zeitstrahl

3.3 Auswertung der verwendeten Implantatgrößen

Die Auswertung der Patientenakten bezüglich der bei den Patienten verwendeten Implantatgrößen ist in Tabelle 8 dargestellt. In 69% der Fälle wurde das kleine Implantat mit einem Durchmesser von 10 mm und in 31% das große Implantat mit einem Durchmesser von 13 mm verwendet.

Tabelle 8: deskriptive Auswertung der verwendeten Implantatgröße

Größe der Vario-Schraube®		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	10 mm	15	69,4	69,4	69,4
	13 mm	34	30,6	30,6	100,0
	Gesamt	49	100,0	100,0	
Fehlend		0	0		
Gesamt		49	100,0		

3.4 Auswertung der Reliabilität der Winkelmessungen

3.4.1 Intrarater-Reliabilität

Die statistische Untersuchung der *Intrarater*-Reliabilität der Winkelmessungen von beiden Untersuchern ergibt im Mittel einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,843$ mit einer Signifikanz von $p < 0,001$. Die geringste Korrelation der gemessenen Winkel in zwei Messdurchgängen eines Untersuchers mit $r = 0,811$ ergibt sich bei den Messungen des postoperativen Talusbasisreferenzwinkels von Untersucher B. Die höchste Korrelation der gemessenen Werte findet sich in den Messungen des postoperativen Talocalcanearewinkels von Untersucher A mit $r = 0,889$. Alle Korrelationen weisen einen hochsignifikanten p-Wert ($p < 0,001$) auf. Die Ergebnisse der Untersuchung der *Intrarater*-Reliabilität mit der Pearson-Korrelation sind in Tabelle 9 detailliert aufgeführt.

Tabelle 9: Ergebnisse *Intrarater*-Reliabilität

Winkel	<i>Intrarater</i>	r	p
Calcaneusneigungswinkel präoperativ	A1 mit A2	0,824	< 0,001
	B1 mit B2	0,853	< 0,001
Calcaneusneigungswinkel postoperativ	A1 mit A2	0,845	< 0,001
	B1 mit B2	0,866	< 0,001
Talusbasisreferenzwinkel präoperativ	A1 mit A2	0,828	< 0,001
	B1 mit B2	0,818	< 0,001
Talusbasisreferenzwinkel postoperativ	A1 mit A2	0,817	< 0,001
	B1 mit B2	0,811	< 0,001
Talocalcanearewinkel präoperativ	A1 mit A2	0,869	< 0,001
	B1 mit B2	0,866	< 0,001
Talocalcanearewinkel postoperativ	A1 mit A2	0,889	< 0,001
	B1 mit B2	0,826	< 0,001
	Mittelwert	0,843	
	Minimum	0,811	
	Maximum	0,889	

3.4.2 Interrater-Reliabilität

Die statistische Untersuchung der *Interrater*-Reliabilität aller gemessenen Winkel ergibt einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,821$ mit einer Signifikanz von $p < 0,001$. Die höchste Korrelation zwischen den Messungen von zwei Untersuchern ergibt sich bei den Messungen des Calcaneusbodenwinkels postoperativ mit $r = 0,891$. Die geringste Übereinstimmung der Messungen beider Untersucher findet sich bei der Messung des Talocalcanearewinkels präoperativ mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,507$. Die Ergebnisse zu den Untersuchungen der *Interrater*-Reliabilität werden in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Ergebnisse *Interrater*-Reliabilität

Winkel	<i>Interrater</i>	r	p
Calcaneusneigungswinkel präoperativ	A1 mit B1	0,885	< 0,001
	A2 mit B2	0,867	< 0,001
Calcaneusneigungswinkel postoperativ	A1 mit B1	0,829	< 0,001
	A2 mit B2	0,891	< 0,001
Talusbasisreferenzwinkel präoperativ	A1 mit B1	0,828	< 0,001
	A2 mit B2	0,835	< 0,001
Talusbasisreferenzwinkel postoperativ	A1 mit B1	0,814	< 0,001
	A2 mit B2	0,811	< 0,001
Talocalcanearwinkel präoperativ	A1 mit B1	0,879	< 0,001
	A2 mit B2	0,507	< 0,001
Talocalcanearwinkel postoperativ	A1 mit B1	0,867	< 0,001
	A2 mit B2	0,843	< 0,001
	Mittelwert	0,821	
	Minimum	0,507	
	Maximum	0,891	

3.5 Auswertung der Winkelmessungen

3.5.1 Calcaneusneigungswinkel

Der mittlere gemessene Calcaneusneigungswinkel vor stattgehabter Operation (T1) beträgt $15,05^\circ$ mit einer Standardabweichung von $2,64^\circ$ (Tabelle 11). Der Median beträgt $14,88^\circ$. Der kleinste vor der Operation gemessene Calcaneusneigungswinkel beträgt $8,63^\circ$. Der größte am präoperativ gemessene Calcaneusneigungswinkel beträgt $20,53^\circ$. Der mittlere postoperative Calcaneusneigungswinkel (T3) beträgt $17,41^\circ$ mit einer Standardabweichung von $2,98^\circ$. Der Median der gesamten am postoperativen Röntgenbild erhobenen Calcaneusneigungswinkel beträgt $17,40^\circ$. Minimal wurde nach durchgeführter Arthrorise ein Calcaneusneigungswinkel von $12,15^\circ$ und maximal ein Calcaneusneigungswinkel von $22,73^\circ$ gemessen. Die mittlere Differenz zwischen dem am präoperativen und postoperativen Röntgenbild erhobenen Calcaneusneigungswinkel beträgt $2,36^\circ$ mit einer Standardabweichung von $1,56^\circ$. Der Median beträgt $2,63^\circ$. Die minimale Differenz beträgt $1,42^\circ$ und maximale Differenz beträgt $5,00^\circ$.

Tabelle 11: deskriptive Statistik zu den Messwerten für den Calcaneusneigungswinkel in Winkelgraden

CP	N		Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend					
präopCP T1	49	0	15,0515	14,8750	2,63871	8,63	20,53
postopCP T3	49	0	17,4092	17,4000	2,97782	12,15	22,73
Δ präop/postop	49	0	2,3577	2,6250	1,5959	1,42	5,00

Abbildung 24 gibt die Verteilung der Messwerte für den Calcaneusneigungswinkel zum präoperativen und postoperativen Zeitpunkt grafisch in Form eines *Boxplots* wieder. Die nebenstehende vertikale Achse ist in Winkelgraden in 5-Grad-Schritten skaliert. Die Messwerte des präoperativen Calcaneusneigungswinkels sind diskret asymmetrisch oberhalb des Medians mit einer im Vergleich zu den Messwerten unterhalb des Medians gering vermehrten Aufspreizung verteilt. Die Messwerte zum postoperativen Calcaneusneigungswinkel zeigen eine nahezu symmetrische Verteilung der Messwerte um den Median. Es finden sich keine Ausreißer in der Verteilung der Messwerte beider Untersuchungszeitpunkte. Zu beiden Zeitpunkten liegt eine annähernde Normalverteilung der Messwerte um den Median vor.

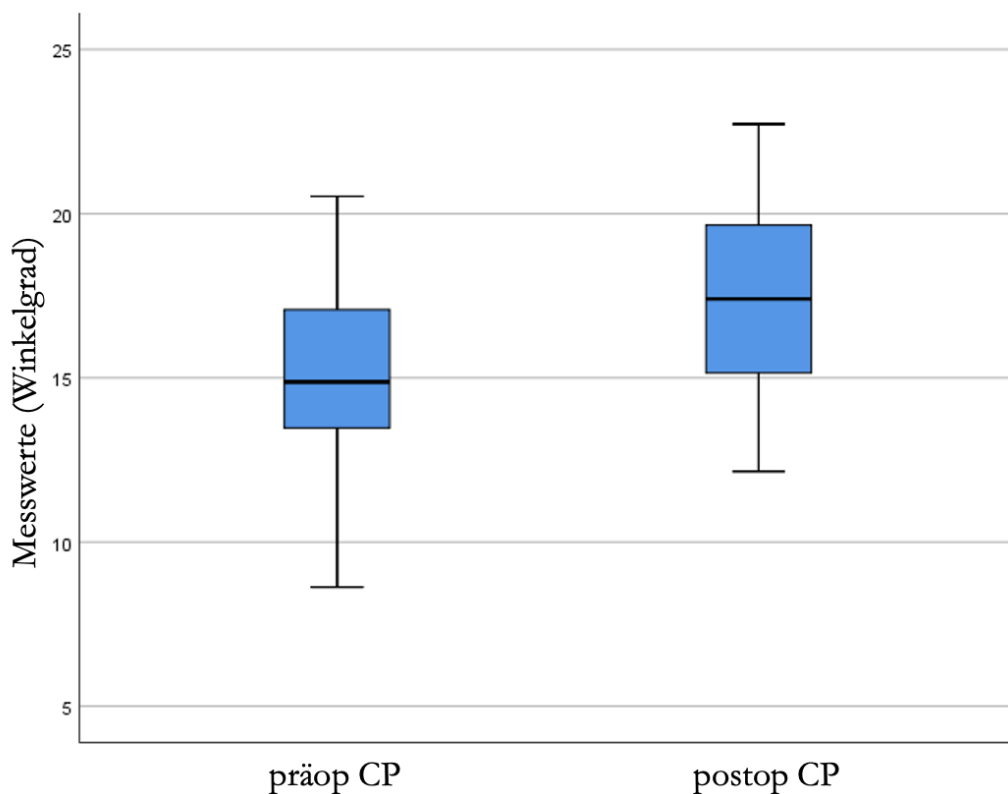


Abbildung 24: Verteilung der Messwerte von präoperativem (T1) und postoperativem (T3) Calcaneusneigungswinkel (CP) in Winkelgraden, *Box-Plots* neben einer Gradskala

Der Vergleich der am präoperativen und postoperativen Röntgenbild gemessenen mittleren Calcaneusneigungswinkel zeigt einen Anstieg von $2,36^\circ$. Abbildung 25 gibt den Anstieg grafisch wieder. Auf der Y-Achse werden die Winkelgrade in 0,5-Grad-Schritten skaliert wiedergegeben. Auf der X-Achse ist die Zeit mit den Messzeitpunkten für den präoperativ und das postoperativ erhobenen Calcaneusbodenwinkel wiedergegeben.

Die Varianzanalyse mittels ANOVA für Messwiederholungen zur Untersuchung der Differenz zwischen den am präoperativen und postoperativen Röntgenbild gemessenen Calcaneusneigungswinkel zeigte einen signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) der gemessenen Winkelgrade mit Anstieg der Messwerte in Bezug auf die Zeit (Tabelle 12).

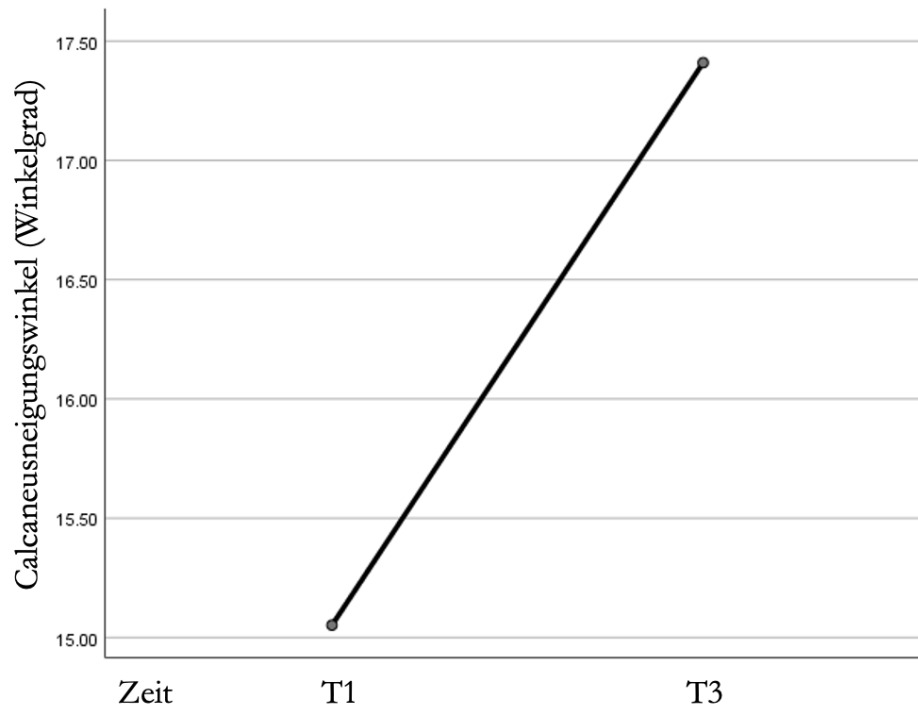


Abbildung 25: mittlerer Calcaneusneigungswinkel am präoperativen (T1) und postoperativem (T3) Röntgenbild in Winkelgraden

Die Überprüfung der Modellvoraussetzungen für die Varianzanalyse erfolgte mit Shapiro-Wilk-Tests. Diese zeigten keine Signifikanz, womit von einer Normalverteilung der Residuen (Tabelle 13) ausgegangen werden kann. Die Varianzhomogenität wurde bei fehlenden Kontrollvariablen nicht überprüft. Die Sphärizität der Daten konnte bei dem Vergleich von zwei Messungen als gegeben angenommen werden.

Tabelle 12: Ergebnisse der rmANOVA für die Calcaneusneigungswinkel

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Zeit	Sphärizität angenommen	136,184	1	136,184	106,935	p < 0,001	0,690
Fehler (Zeit)	Sphärizität angenommen	61,129	48	1,274			

Tabelle 13: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Calcaneusneigungswinkel

Tests auf Normalverteilung der Residuen			
	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Residuum für präopCP	0,988	49	0,902
Residuum für postopCP	0,966	49	0,166

3.5.2 Talusbasisreferenzwinkel

Der mittlere am präoperativen Röntgenbild erhobene Talusbasisreferenzwinkel (T1) beträgt $40,19^\circ$ mit einer Standardabweichung von $2,78^\circ$. Der Median beträgt $39,88^\circ$. Der minimale gemessene Winkel beträgt $34,55^\circ$ und der maximale Winkel beträgt $47,63^\circ$.

Der mittlere postoperative Talusbasisreferenzwinkel (T3) beträgt $24,78^\circ$ mit einer Standardabweichung von $3,75^\circ$. Der Median beträgt $24,20^\circ$. Als Extremwerte wurden ein Minimum von $15,47^\circ$ und ein Maximum von $33,05^\circ$ ermittelt. Die mittlere Differenz zwischen dem Talusbasisreferenzwinkel im präoperativen und postoperativen Röntgenbild beträgt $15,41^\circ$ mit einer Standardabweichung von $4,91^\circ$. Der Median beträgt $16,28^\circ$. Die minimale Differenz beträgt $4,95^\circ$ und die maximale Differenz beträgt $28,43^\circ$.

Tabelle 14: deskriptive Statistik zu den Messwerten Talusbasisreferenzwinkel in Winkelgraden

TD	N		Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend					
präopTD T1	49	0	40,1898	39,8750	2,77903	34,55	47,63
postopTD T3	49	0	24,7750	24,2000	3,75254	15,47	33,05
Δ präop/postop	49	0	15,4148	16,2750	4,9140	4,95	28,43

Abbildung 26 zeigt die Verteilung der Messwerte des Talusbasisreferenzwinkels am präoperativen und postoperativen Röntgenbild in Form eines *Boxplots*. Die nebenstehende vertikale Achse ist in 10-Grad-Schritten in Winkelgraden skaliert. Die Verteilung der Messwerte am präoperativen Röntgenbild um den Median ist innerhalb des Interquartilabstands symmetrisch. Die gemessenen Extremwerte befinden sich innerhalb des 1,5-fachen Interquartilabstandes. Die Messwerte des postoperativen Talusbasisreferenzwinkels sind innerhalb des 1,5-fachen Interquartilabstandes oberhalb des Medians betont. Es finden sich leichte Ausreißer der Messwerte oberhalb und unterhalb des 1,5-fachen Interquartilabstandes. Insgesamt finden sich zu beiden Zeitpunkten annähernd normalverteilte Messwerte um den Median.

Abbildung 27 gibt den Unterschied zwischen dem mittleren am präoperativen und am postoperativen Röntgenbild erhobenen Talusbasisreferenzwinkeln grafisch wieder. Auf der Y-Achse werden die Winkelgrade in 5-Grad-Schritten skaliert wiedergegeben. Auf der X-Achse ist die Zeit mit den Zeitpunkten T1 und T3 für das präoperativ und das postoperativ angefertigte Röntgenbild wiedergegeben.

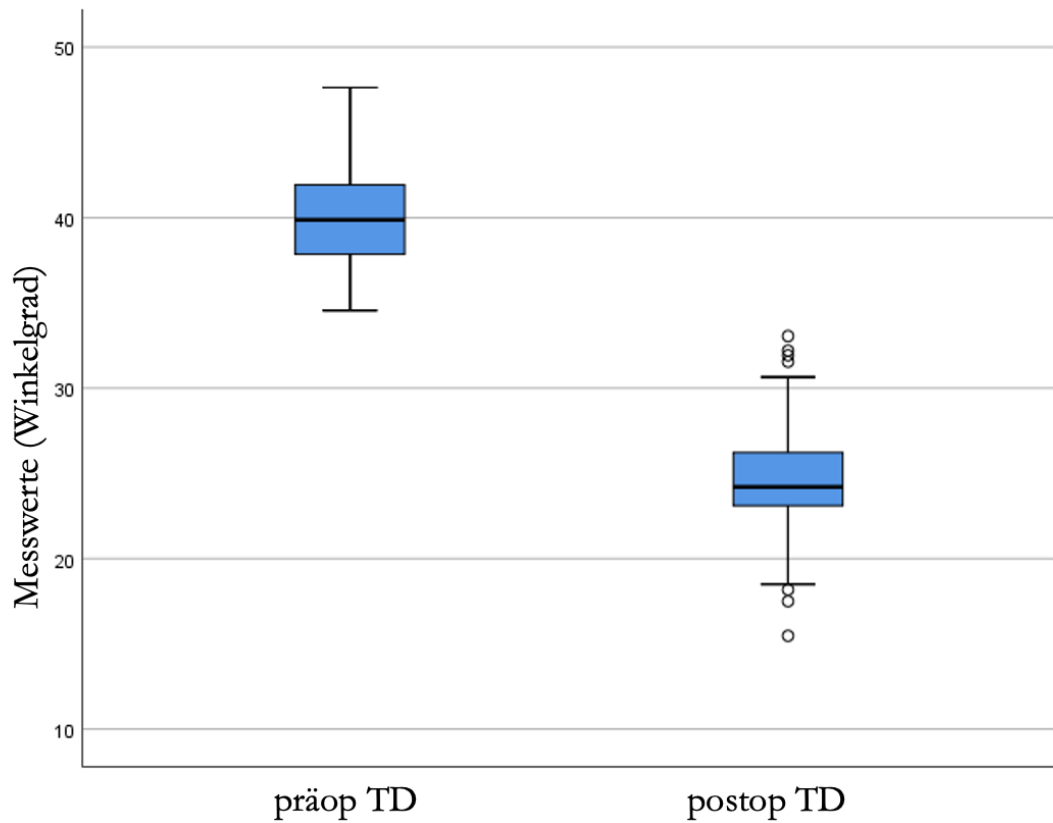


Abbildung 26: Verteilung der Messwerte von präoperativem (T1) und postoperativem (T3) Talusbasisreferenzwinkel in Winkelgraden, *Boxplots* neben einer Gradskala

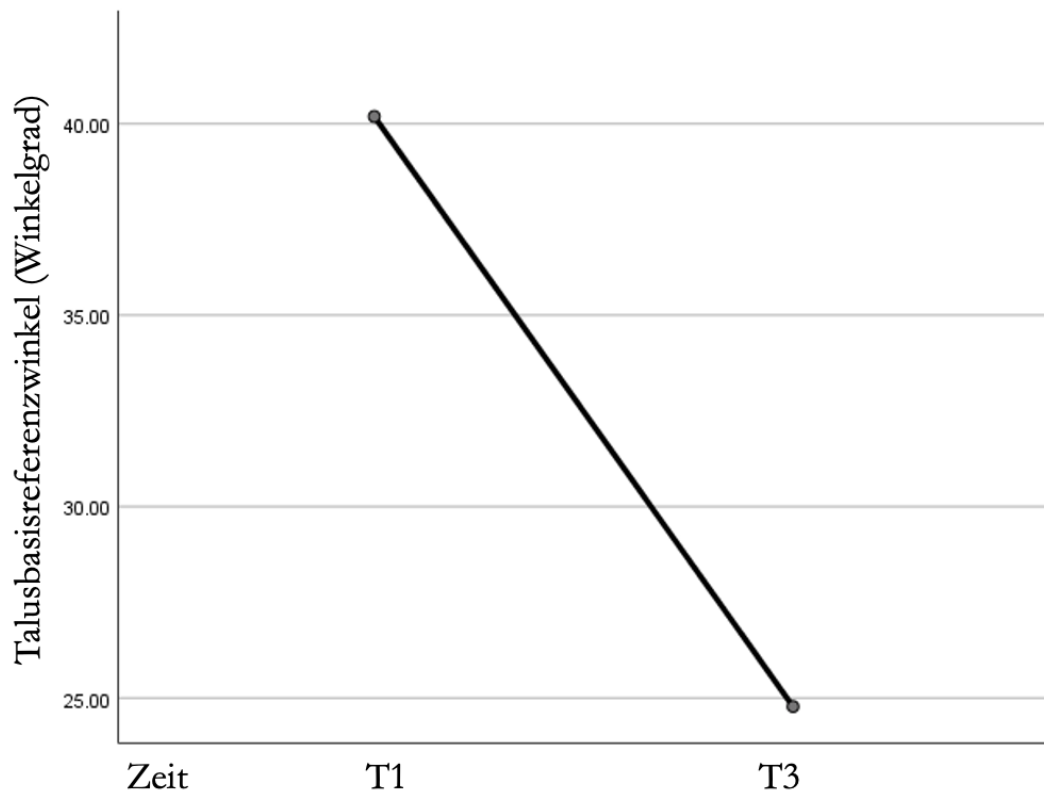


Abbildung 27: mittlerer Talusbasisreferenzwinkel am präoperativen (T1) und postoperativen (T3) Röntgenbild in Winkelgraden

Die Untersuchung des Unterschiedes zwischen präoperativ und postoperativ gemessenen Talusbasisreferenzwinkeln mit Varianzanalyse durch ANOVA für Messwiederholungen zeigte einen signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) mit Abfall der gemessenen Winkelgrade in Bezug auf die Zeit (Tabelle 15).

Die Überprüfung der Modellvoraussetzungen für die Varianzanalyse mit Shapiro-Wilk-Tests zeigten keine Signifikanz ($p < 0,05$) und damit kann von einer Normalverteilung der Residuen ausgegangen werden (Tabelle 16). Die Varianzhomogenität wurde bei fehlenden Kontrollvariablen nicht überprüft und die Sphärizität der Daten kann als gegeben angenommen werden.

Tabelle 15: Ergebnisse der rmANOVA für die Talusbasisreferenzwinkel

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Zeit	Sphärizität angenommen	5821,590	1	5821,590	482,175	$p < 0,001$	0,909
Fehler (Zeit)	Sphärizität angenommen	579,532	48	12,074			

Tabelle 16: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Talusbasisreferenzwinkel

Tests auf Normalverteilung der Residuen			
	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Residuum für präopTD	0,988	49	0,908
Residuum für postopTD	0,960	49	0,092

3.5.3 Talocalcanearewinkel

Der mittlere Talocalcanearewinkel des gesamten Patientenkollektivs vor Operation beträgt $46,49^\circ$ mit einer Standardabweichung von $5,16^\circ$ (Tabelle 17). Der Median beträgt $46,52^\circ$. Der kleinste gemessene Talocalcanearewinkel am präoperativen Röntgenbild beträgt $30,83^\circ$. Der größte gemessene Wert beträgt $59,35^\circ$. Der Mittelwert des postoperativen Talocalcanearewinkels im gesamten Kollektiv misst $31,47^\circ$ mit einer Standardabweichung von $4,34^\circ$. Der Median beträgt $31,70^\circ$. Die Extremwerte finden sich bei $23,50^\circ$ und $38,58^\circ$ als Minimum und Maximum. Die mittlere Differenz zwischen am präoperativen und postoperativen Röntgenbild erhobenem Talocalcanearewinkel beträgt $15,02^\circ$ mit einer Standardabweichung von $7,17^\circ$. Der Median der Differenz liegt bei $15,78^\circ$. Es findet sich eine minimale Differenz zwischen präoperativem und postoperativem Talocalcanearewinkel von $2,93^\circ$ und eine maximale Differenz von $35,85^\circ$.

Tabelle 17: deskriptive Statistik zu den Messwerten Talocalcanearewinkel in Winkelgraden

TC	N		Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend					
präopTC T1	49	0	46,4908	46,5250	5,16070	30,83	59,35
postopTC T3	49	0	31,4689	31,7000	4,34225	23,50	38,58
Δ präop/postop	49	0	15,0219	15,7750	7,1720	2,93	35,85

Abbildung 28 zeigt grafisch in Form eines *Boxplots* die Verteilung der Messwerte von präoperativem und postoperativem Talocalcanearewinkel des gesamten Patientenkollektivs. Die vertikale Achse zeigt Winkelgrade mit einer Skalierung in 10-Grad-Schritten.

Die Messwerte am präoperativen Röntgenbild zeigen sich abgesehen von zwei geringen Ausreißern weitgehend symmetrisch innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstandes um den Median normalverteilt. Die Messwerte am postoperativen Röntgenbild zeigen keine Ausreißer bei homogener Verteilung um den Median. Die Extremwerte liegen innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstandes. Die Messwerte beider Zeitpunkte entsprechen einer Normalverteilung um den Median.

In der Betrachtung von isolierten Messpaaren der einzelnen Patienten und dem Vergleich von am präoperativen und postoperativen Röntgenbild gemessenem Talocalcanearewinkel kommt es bei einem Patienten, entgegen der bei allen anderen Patienten vorliegenden Abnahme des Talocalcanearewinkels, zu einem Anstieg des Talocalcanearewinkels um $5,33^\circ$ (Patient-präopTC = $30,8^\circ$, Patient-postopTC = $36,2^\circ$).

In Abbildung 29 ist die Veränderung der mittleren am präoperativen und postoperativen Röntgenbild gemessenen Talocalcanearewinkel grafisch dargestellt. Auf der Y-Achse werden die Winkelgrade in 5-Grad-Schritten skaliert wiedergegeben. Auf der X-Achse sind die Zeitpunkte T1 und T3 entsprechend dem präoperativ und dem postoperativ angefertigten Röntgenbild markiert. Die mittlere Differenz zwischen den Talocalcanearewinkeln zu T1 und T3 beträgt $15,02^\circ$.

Die statistische Untersuchung der präoperativ und postoperativ gemessenen Talocalcanearewinkel mit Varianzanalyse durch ANOVA für Messwiederholungen (Tabelle 18) zeigte einen signifikanten Unterschied der gemessenen Winkelgrade in Bezug auf die Zeit ($p < 0,001$). Die Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Modellvoraussetzungen für die Varianzanalyse mit ANOVA zeigten ein signifikantes Ergebnis ($p < 0,05$) für die am postoperativen Röntgenbild gemessenen Talocalcanearewinkel und damit eine teilweise Verletzung der Normalverteilung der Residuen (Tabelle 19). Die Varianzhomogenität musste bei fehlenden Kontrollvariablen nicht überprüft werden. Die Sphärizität der Daten kann als gegeben angenommen werden.

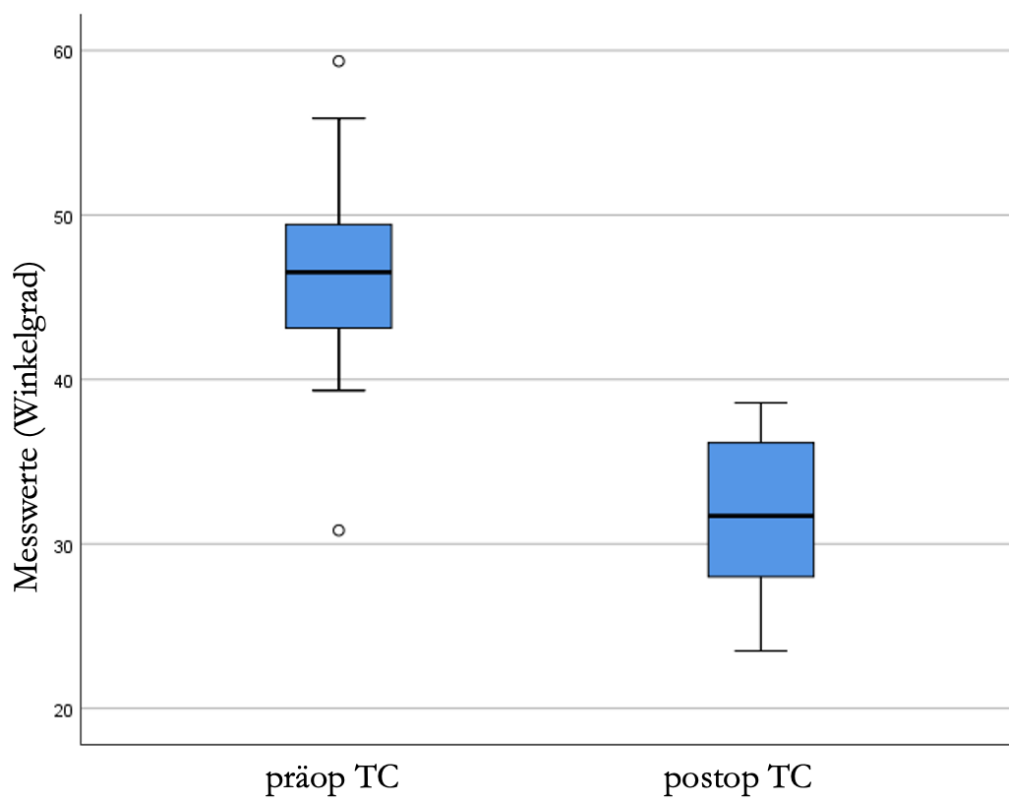


Abbildung 28: Verteilung der Messwerte von präoperativem und postoperativem Talocalcanealwinkel in Winkelgraden, *Boxplots* neben einer Gradskala

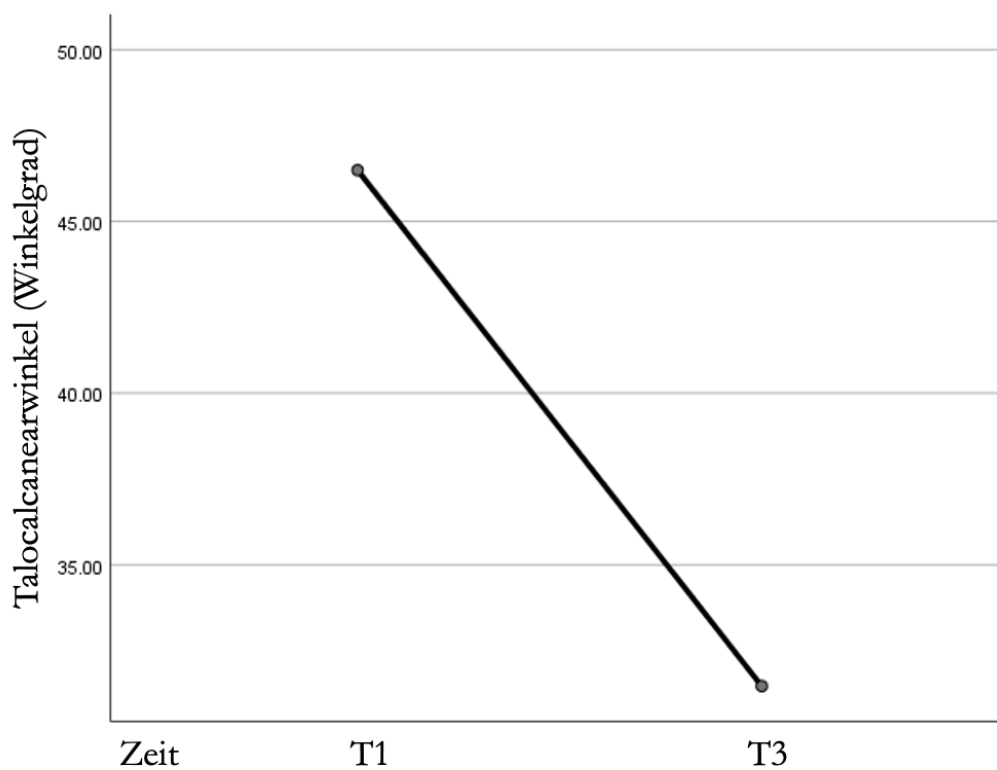


Abbildung 29: mittlerer Talocalcanealwinkel am präoperativen (T1) und postoperativen (T3) Röntgenbild in Winkelgraden

Tabelle 18: Ergebnisse der rmANOVA für die Talocalcanearewinkel

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Zeit	Sphärizität angenommen	5528,637	1	5528,637	214,963	p < 0,001	0,817
Fehler (Zeit)	Sphärizität angenommen	1234,512	48	25,719			

Tabelle 19: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Talocalcanearewinkel

Tests auf Normalverteilung der Residuen			
	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Residuum für präopTC	0,972	49	0,299
Residuum für postopTC	0,949	49	0,034

Die Verletzung der Normalverteilung begründet sich in dem bei einem Patienten vorliegenden, oben beschriebenen Anstieg des gemessenen Talocalcanearewinkels am postoperativen Röntgenbild im Vergleich zum präoperativen Röntgenbild. Bei den übrigen Patienten sind die am postoperativen Röntgenbild gemessenen Talocalcanearewinkel geringer als die am präoperativen Röntgenbild gemessenen Winkelgrade. Die Messpaare wurden entsprechend der Differenz zwischen präoperativ und postoperativ gemessenen Talocalcanearewinkeln in positive und negative Ränge aufgeteilt (Tabelle 20).

Zur Überprüfung der Ergebnisse der Varianzanalyse mit ANOVA, bei nicht vollständig gegebenen Modelvoraussetzungen durch nicht normalverteilte Residuen der am postoperativen Röntgenbild gemessenen Talocalcanearewinkel, wurde ein Wilcoxon-Test (Tabelle 21) basierend auf den positiven Rängen der Messpaare zwischen präoperativ und postoperativ gemessenem Talocalcanearewinkel berechnet. Der Wilcoxon-Test bestätigt das Ergebnis der ANOVA mit einem signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) der präoperativ und postoperativ gemessenen Talocalcanearewinkel und signifikantem Absinken der Messwerte.

Tabelle 20: Bildung von positiven und negativen Rängen der Messpaare postopTC und präopTC

Ränge				
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
postopTC - präopTC	Negative Ränge	48 ^a	25,44	1221,00
	Positive Ränge	1 ^b	4,00	4,00
	Bindungen	0 ^c		
	Gesamt	49		
a. postopTC < präopTC				
b. postopTC > präopTC				
c. postopTC = präopTC				

Tabelle 21: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für die Differenz der gemessenen Talocalcaneärwinkel

Wilcoxon-Test	
	postopTC - präopTC
Z (basiert auf positiven Rängen: postop TC > präopTC)	-6,053
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	p < 0,001

3.6 Auswertung der Untersuchung und Befragung mit der AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale

Die Auswertung der AOFAS-AHS des gesamten Patientenkollektivs (Tabelle 22) ergibt vor Operation einen mittleren AOFAS-Score von 62,76 Punkten mit einer Standardabweichung von 12,05 Punkten. Der mediane AOFAS-Score des Kollektivs liegt zu diesem Zeitpunkt bei 67 Punkten. Der kleinste erhobene AOFAS-Score vor Operation beträgt 26 Punkte. Der maximale AOFAS-Score zum Zeitpunkt T1 beträgt 75 Punkte.

Der mittlere am Verlaufskontrollzeitpunkt T4 erhobene AOFAS-Score beträgt 88,57 Punkte mit einer Standardabweichung von 6,95 Punkten. Der Median beträgt 88 Punkte. Der niedrigste im Rahmen der Verlaufsuntersuchung erhobene AOFAS-Score beträgt 70 Punkte. Der höchste AOFAS-Score zu diesem Zeitpunkt beträgt 100 Punkte.

Tabelle 22: deskriptive Auswertung der Ergebnisse AOFAS-AHS in Punktwerten

AOFAS	N		Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend					
AOFAS T1	49	0	62,76	67	12,05	26	75
AOFAS T4	49	0	88,57	88	6,95	70	100
Δ präop/postop	49	0	25,82	21	13,34	13	66

In Abbildung 30 wird die Verteilung der präoperativ und postoperativ erhobenen AOFAS-Scores grafisch anhand von *Box-Plots* dargestellt. Die vertikal verlaufende Achse beschreibt in 20-Punkte-Schritten skaliert die Punktwerte. In den Werten zum präoperativen Zeitpunkt beträgt der Median auf der 67 Punkte und die Werte im Interquartilsabstand diskret asymmetrisch mit einer Betonung unterhalb des Medians verteilt. Auch der 1,5-fache Interquartilsabstand zeigt unterhalb des Medians eine diskret vermehrte Spreizung. Es finden sich 2 Ausreißer und 3 Extremwerte (Sternmarkierung) zwischen 26 und 47 Punkten. Die zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhobenen Werte zeigen eine annähernd symmetrische Verteilung um den Median mit einer diskreten Betonung der Messwerte innerhalb des oberen Interquartilabstands. Es findet sich ein Ausreißer bei 70 Punkten. Die Verteilung der Punktwerte zum Nachuntersuchungs-Zeitpunkt entspricht annähernd einer Normalverteilung.

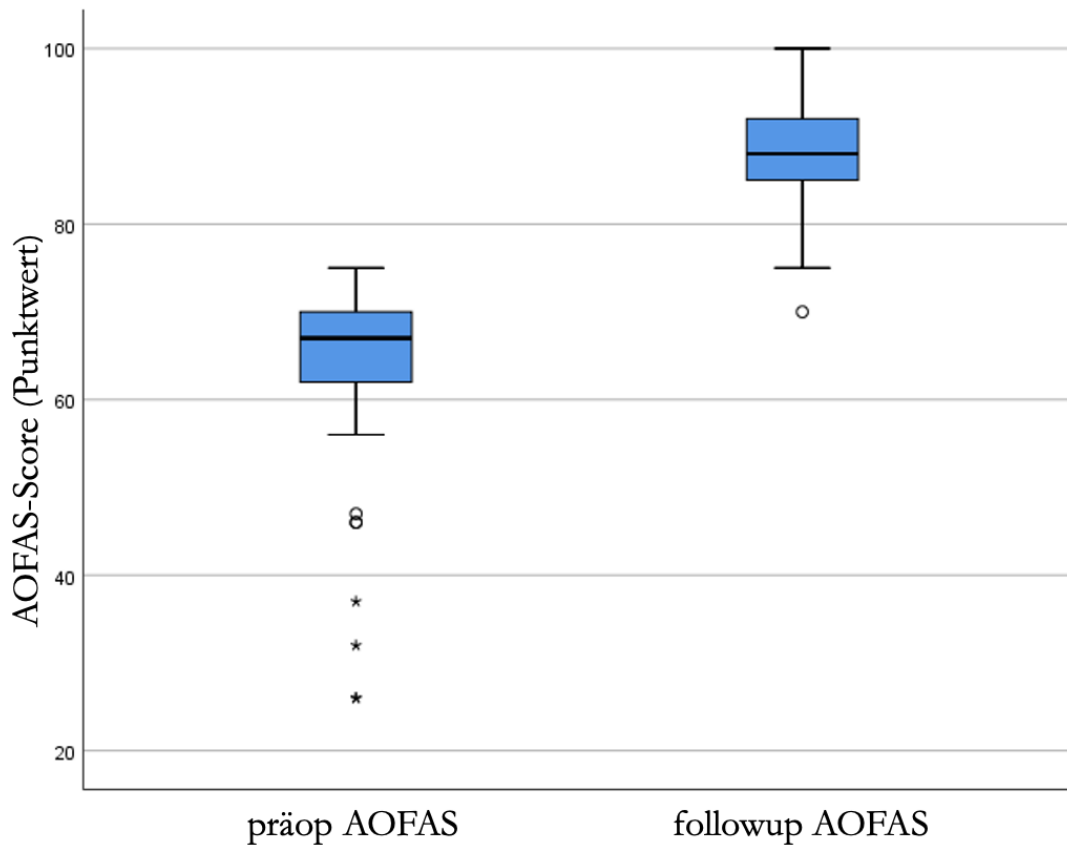


Abbildung 30: Verteilung des präoperativ und im Rahmen der Nachuntersuchung erhobener AOFAS-Scores in Punktwerten, *Box-Plots* mit Punktskala

In Tabelle 23 werden die kumulierten Antwortverteilungen der Befragung mit der AOFAS-AHS aufgeführt. Zu jeder Antwortoption der AOFAS-AHS ist die Häufigkeit, mit der die Antwort zum präoperativen Zeitpunkt und zum Zeitpunkt der Verlaufskontrolle von den Patienten des untersuchten Kollektivs gewählt wurde, aufgeführt.

In der Abbildung 30 ist der mittlere präoperative AOFAS-Score gegenüber dem mittleren AOFAS-Score zum Nachuntersuchungszeitpunkt (T4) grafisch dargestellt. Auf der Y-Achse werden die Punktwerte in 5-Punkte-Schritten skaliert dargestellt. Auf der X-Achse sind die Zeitpunkte T1 für die präoperative Erhebung und T4 für die Erhebung der AOFAS-Scores zum Nachuntersuchungszeitpunkt markiert.

Der statistische Vergleich der präoperativ ermittelten AOFAS-Scores mit den postoperativ ermittelten AOFAS-Scores erfolgte durch Varianzanalyse mit ANOVA für Messwiederholung (Tabelle 24). Die Berechnung ergibt einen signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) zwischen den präoperativ (T1) und zum Nachuntersuchungszeitpunkt (T4) erhobenen AOFAS-Scores mit signifikantem Anstieg der Punktwerte.

Tabelle 23: AOFAS-AHS, Verteilung der Antworten zum präoperativen Zeitpunkt und zum Nachuntersuchungs-Zeitpunkt

AOFAS-AHS	Kumulierte Antwortverteilung	
	präop (n = 49)	follow-up (n = 49)
1. Schmerz:		
Kein Schmerz	0	21
Leichter Schmerz	12	27
Mäßiger Schmerz	30	1
Heftiger Schmerz	7	0
2. Aktivitätseinschränkungen		
Keine	0	33
Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten	24	15
Mäßige Einschränkungen in Alltag und Freizeit	21	1
Stärkste Einschränkungen in Alltag und Freizeit	4	0
3. Maximale Gehstrecke am Stück		
Mehr als 600 Meter	44	49
Zwischen 400 und 600 Meter	4	0
Zwischen 100 und 400 Meter	1	0
Weniger als 100 Meter	0	0
4. Laufoberflächen / Untergrund		
Keine Probleme auf jeglichen Oberflächen	2	31
Mäßige Probleme auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigung	39	18
Stärkste Probleme oder Unfähigkeit auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigungen zu gehen	8	0
5. Gangauffälligkeiten		
Keine oder geringe	49	49
Offensichtliche (Gehen möglich aber abnorm)	0	0
Deutliche (Gehen schwierig und abnorm)	0	0
6. Sagittale Bewegung (Dorsalextension plus Plantarflexion)		
Normal oder leichte Einschränkungen (30° oder mehr)	49	49
Mäßige Einschränkungen (15 – 29°)	0	0
Massive Einschränkungen (weniger als 15°)	0	0
7. Rückfußbewegung (Inversion plus Eversion)		
Normal oder leichte Einschränkungen (75 – 100% der Norm)	49	16
Mäßige Einschränkungen (25 – 74% der Norm)	0	33
Massive Einschränkungen (weniger als 25% der Norm)	0	0
8. Sprunggelenk-Rückfußstabilität - Stabil/Instabil (vordere Schublade, Varus-/Valgusstress)		
Stabil	35	35
Instabil	14	14
9. Ausrichtung:		
Gut, Fuß plantigrad, keine Fehlstellung	0	48
Mäßig, Fuß plantigrad, leichte bis mittelschwere Fehlstellung	28	1
Schlecht, Fuß nicht plantigrad, starke Fehlstellung	21	0

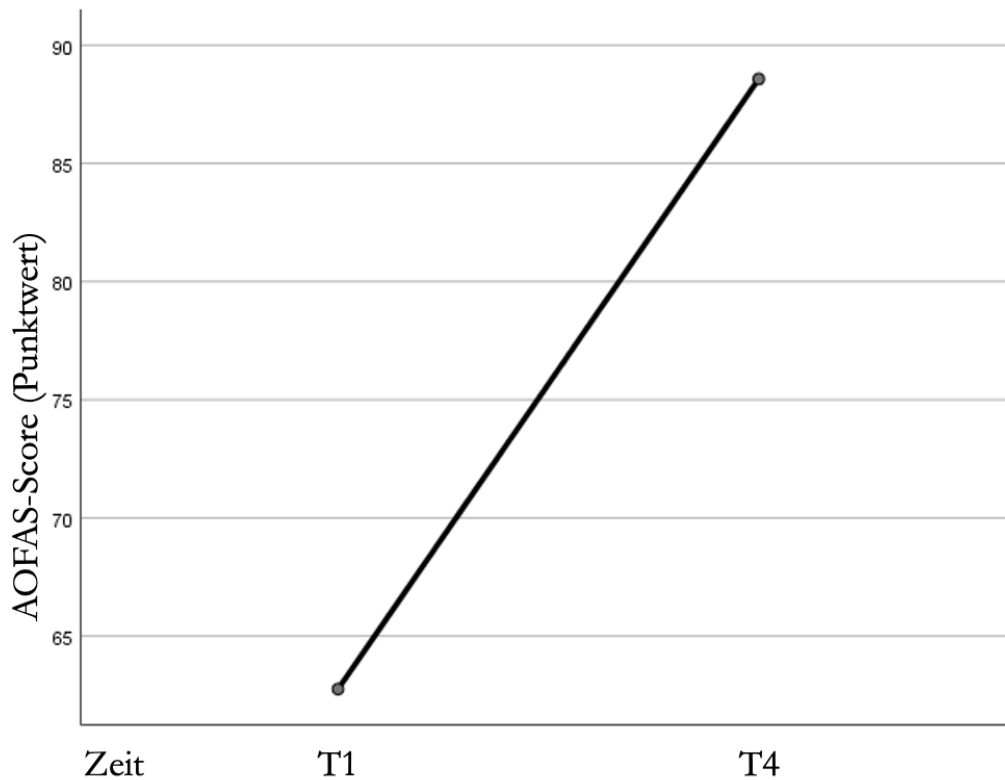


Abbildung 31: mittlerer AOFAS-Score zum präoperativen (T1) und zum Nachuntersuchungszeitpunkt (T4) in Punktwerten

Tabelle 24: Ergebnisse der rmANOVA für die AOFAS-Scores

Tests der Innersubjekteffekte		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Zeit	Sphärizität angenommen	16328,827	1	16328,827	183,613	p < 0,001	0,793
Fehler (Zeit)	Sphärizität angenommen	4268,673	48	88,931			

Die Überprüfung der Modellvoraussetzungen für die Varianzanalyse mit dem Shapiro-Wilk-Test zeigen an beiden Messzeitpunkten signifikante Werte ($p < 0,05$) als Ausdruck einer Verletzung der Normalverteilung der Residuen (Tabelle 25).

Tabelle 25: Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die AOFAS-Scores

Tests auf Normalverteilung der Residuen			
	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Residuum für präopAOFAS	0,915	49	p < 0,001
Residuum für follow-upAOFAS	0,918	49	0,028

Zur Überprüfung der Ergebnisse der Varianzanalyse mit ANOVA wurde der Wilcoxon-Test angewendet. Dazu wurden die Messpaare in Ränge in Abhängigkeit von der positiven oder negativen Veränderung zwischen den Messzeitpunkten aufgeteilt. Bei allen Patienten

zeigen sich zunehmende AOFAS-Scores im Vergleich der Zeitpunkte T1 und T4 und werden dem positiven Rang zugeordnet (Tabelle 26).

Das Ergebnis des Wilcoxon-Tests zeigt eine signifikante Veränderung ($p < 0,001$) der präoperativ erhobenen AOFAS-Scores im Vergleich mit dem zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhobenen AOFAS-Scores und bestätigt damit die Ergebnisse der Varianzanalyse mit ANOVA (Tabelle 27).

Tabelle 26: Bildung von positiven und negativen Rängen der Messpaare follow-upAOFAS und präopAOFAS

<i>Ränge</i>		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
follow-upAOFAS - präopAOFAS	Negative Ränge	0 ^a	0,00	0,00
	Positive Ränge	49 ^b	25,00	1225,00
	Bindungen	0 ^c		
	Gesamt	49		
a. follow-upAOFAS < präopAOFAS				
b. follow-upAOFAS > präopAOFAS				
c. follow-upAOFAS = präopAOFAS				

Tabelle 27: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für die Differenz der erhobenen AOFAS-Scores

<i>Wilcoxon-Test</i>	follow-upAOFAS - präopAOFAS
Z (basiert auf negativen Rängen follow-upAOFAS < präopAOFAS)	-6,098
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	$p < 0,001$

3.7 Auswertung der Komplikationen

3.7.1 Intraoperative Komplikationen

Aus den eingeschlossenen Patientenakten wurden 49 Operationsberichte über die durchgeführte subtalare Arthrorise von 49 Füßen zum Zeitpunkt T2 eingeschlossen. In diesen finden sich keine beschriebenen chirurgischen Komplikationen bezogen auf die durchgeführte Operation. Es finden sich keine Einträge über eine erschwerte Reposition der Fehlstellung oder eine erschwerte Implantation der Vario-Schraube®. Zudem finden sich keine Einträge über eine erschwerte Präparation oder allgemeinchirurgische Erschwernisse. Alle eingeschlossenen Operationsberichte beschreiben eine komplikationslose Implantation ohne Besonderheiten des Operationsablaufes.

3.7.2 Komplikationen im postoperativen Beobachtungszeitraum

Im Beobachtungszeitraum nach subtalarer Arthrorise wurden die Patientenakten nach Einträgen über aufgetretene Komplikationen durchsucht und die dokumentierten

Komplikationen in die vorliegende Untersuchung eingeschlossen. Der Beobachtungszeitraum beträgt abhängig vom Zeitpunkt der Operation innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraumes mindestens sechs Monate (186 Tage) und längstens 36 Monate (1102 Tage) nach der Operation.

In den eingeschlossenen Patientenakten wurden im Beobachtungszeitraum bei insgesamt zwei Füßen von zwei Patienten bis zu drei Monate bzw. sechs Monate postoperativ andauernden Schmerzen im Bereich des Sinus tarsi als postoperative Komplikation dokumentiert. Bei einem dieser Patienten zeigten sich am kontralateralen Fuß bis zur sechsten postoperativen Woche andauernde Spasmen der Mm. peronei, die ebenfalls als Komplikation des postoperativen Verlaufes gewertet wurden.

An einem postoperativ untersuchten Fuß zeigte sich eine morphologisch und klinisch unzureichende Korrektur der Fehlstellung mit im Vergleich zum präoperativen Röntgenbild am postoperativen Röntgenbild zugenommenem TC-Winkel.

Bei einem Fuß wurde fünf Monate nach subtalarer Arthrorise eine spontane Dislokation der eingebrachten Schraube und die dadurch notwendige Revisionsoperation dokumentiert. Des Weiteren wurde etwa 2,5 Jahre nach subtalarer Arthrorise eine traumatische Dislokation eines Implantates mit, bei vorliegendem Wachstumsabschluss, anschließender Implantatentfernung dokumentiert.

4 Diskussion

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Fragestellung und die dazu aufgestellten Arbeitshypothesen anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung überprüft und im Vergleich zu Ergebnissen anderer Untersuchungen diskutiert.

4.1 Arbeitshypothese I und II

In Arbeitshypothese I wurde angenommen, dass die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] die radiologisch diagnostizierte Fehlstellung des kindlichen Knickplattfußes korrigieren und in eine physiologische Stellung des Fußes überführen kann. Dazu wurden die beschriebenen Winkel am prä- und postoperativen Röntgenbild von zwei unabhängigen Untersuchern in jeweils zwei Messdurchgängen erhoben und die Veränderung statistisch ausgewertet. Es wurde eine hohe Übereinstimmung der gemessenen Winkelgrade mit hoher Urteilsübereinstimmung (*Intrarater-Reliabilität*) und hoher Urteilerübereinstimmung (*Interrater-Reliabilität*) erwartet.

Die Arbeitshypothese I wird bestätigt. Die radiologische präoperative Knickplattfußstellung wird durch die subtalare Arthrorise mit dem Vario Subtalar-System[®] in eine radiologisch nachvollziehbare, physiologische Stellung überführt. Die dazu herangezogenen Messwerte zeigen eine hohe *Intrarater-Reliabilität* und eine hohe *Interrater-Reliabilität*.

In Arbeitshypothese II wurde erwartet, dass die eigenen Ergebnisse in Bezug auf die präoperative Fehlstellung, die intraoperative Korrektur und die postoperative Stellung des Fußes mit Ergebnissen bereits veröffentlichter Untersuchungen vergleichbar sind.

Die Arbeitshypothese II wird bestätigt. Der Vergleich der Winkelmesswerte der vorliegenden Untersuchung sind mit den in der Literatur veröffentlichten Messwerten und deren Auswertung in Metanalysen vergleichbar (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021). Die Ergebnisse der Winkelmessungen für den jeweils verwendeten Winkel werden in Kapitel 4.1.2 diskutiert und mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen verglichen.

Die radiologische Auswertung der Behandlungsergebnisse nach subtalärer Arthrorise erfolgte erstmals durch Lanham im Jahr 1979 (Lanham 1979; Metcalf et al. 2011). Die überwiegende Anzahl veröffentlichter Untersuchungen benutzt radiologische Kriterien zur Beurteilung der durch eine subtalare Arthrorise erfolgten Stellungskorrektur. In den Metanalysen, der diesbezüglich veröffentlichten Behandlungsergebnisse, werden die am prä- und postoperativen Röntgenbild erhobenen Winkelgrade miteinander verglichen (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021). Bei der Auswahl, der in vorliegender Untersuchung verwendeten Winkel, wurde auf eine hohe Reproduzierbarkeit der Messwerte und das Vorhandensein einer möglichst großen Anzahl an für diese Winkel in Bezug auf die subtalare Arthrorise bereits veröffentlichte Ergebnisse geachtet (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021). Durch die Winkel können die Ausprägung des Längsgewölbes und die Rückfußachse als für

den Knickplattfuß typische Veränderungen nachvollzogen werden. Die Reproduzierbarkeit und Reliabilität der Messergebnisse sind im Vergleich zu anderen Winkeln hoch und entsprechend nachuntersucht (Waldt et al. 2011; Giovanni und Smith 1976).

4.1.1 Untersuchung der *Intrarater-* und *Interrater-*Reliabilität

Zur Untersuchung der *Intrarater-*Reliabilität aus den zwei Messdurchgängen der beiden Untersucher wurde die Pearson Korrelation errechnet. Die gefundenen Korrelationen der beiden Messdurchgänge waren zwischen $r = 0,811$ und $r = 0,889$ mit einem Mittelwert von $r = 0,843$ bei hoher Signifikanz von allen gefundenen Korrelationen. Korrelationen mit r größer 0,8 werden als sehr starke Korrelationen bezeichnet und zeigen die hohe Übereinstimmung der gemessenen Winkelgrade in den beiden Messdurchgängen der jeweiligen Untersucher (Fahrmeir et al. 2016).

Die Untersuchung der Korrelation der Messdurchgänge beider Untersucher zueinander zeigte ebenfalls starke Korrelationen mit einer mittleren Korrelation von $r = 0,821$ und hoher Signifikanz der gefundenen Korrelationen. Die maximal errechnete Korrelation beträgt $r = 0,891$. Im Vergleich der zweiten Messdurchgänge des präoperativen Talocalcanearwinkels von Untersucher A und B findet sich die niedrigste errechnete Korrelation der vorliegenden Untersuchung mit $r = 0,507$. Eine Korrelation mit r größer 0,5 wird als mittelstark bezeichnet (Fahrmeir et al. 2016). Bei allen weiteren errechneten Korrelationen ist r größer 0,8. Da die weitere statistische Auswertung der Messwerte durch Mittelwertbildung aus allen vier Messdurchgängen für jeden Winkel erfolgte, wird die mittelstarke Korrelation eines Messpaares durch die für jedes weitere Messpaar errechnete starke Korrelation ausgeglichen, und es ergibt sich in der Betrachtung der erhobenen mittleren Korrelationen insgesamt eine starke *Intrarater-*Reliabilität und eine starke *Interrater-*Reliabilität (Fahrmeir et al. 2016).

In der Literatur werden die mittlere *Intrarater-*Reliabilität bei der Erhebung von Winkelgraden am Röntgenbild des Fußes mit $r = 0,75$ und die mittlere *Interrater-*Reliabilität mit Werten zwischen $r = 0,78$ und $r = 0,95$ angegeben (Younger et al. 2005; Sensiba et al. 2010, Radler et al. 2010). Radler et al. (2010) differenzieren bei der Angabe von Reliabilitäten zwischen verschiedenen Röntgenebenen. Für die *Intrarater-* und *Interrater-*Reliabilität bei der Erhebung von Winkeln an Röntgenbildern im lateralen Strahlengang geben die Autoren „sehr gute“ Korrelationskoeffizienten ($r > 0,8$) an. Die von dieser Gruppe untersuchten Messungen des Talocalcanearwinkels ergeben im Gegensatz dazu lediglich eine „gute Korrelation“ ($r > 0,6$) (Radler et al. 2010). Diese Ergebnisse stimmen dabei mit den eigenen Ergebnissen der Messwertkorrelation überein.

Die in vorliegender Untersuchung errechneten Korrelationen der Messwerte der *Intrarater-*Reliabilität und der *Interrater-*Reliabilität sind mit den in der Literatur angegebenen Werten vergleichbar (Younger et al. 2005; Sensiba et al. 2010, Radler et al. 2010). Die

Erwartung einer starken Korrelation der erhobenen Messwerte als ein Teil der Arbeitshypothese I ist damit erfüllt.

4.1.2 Untersuchung der Stellungskorrektur durch die subtalare Arthrorise

Zur Untersuchung der Stellungskorrektur des Fußes wird in den folgenden Abschnitten die an den präoperativen Röntgenbildern gemessene Fehlstellung mit der an den postoperativen Röntgenbildern erhobenen Fußstellung verglichen.

4.1.2.1 Calcaneusneigungswinkel

Der vor der subtalaren Arthrorise erhobene mittlere Calcaneusneigungswinkel (Maß für die Längsgewölbeabflachung) beträgt in vorliegender Untersuchung $15,05^\circ$. Di Giovanni und Smith (1976) beschreiben in der für Normwerte radiologischer Winkelmaße am Fuß oft zu Grunde gelegten Arbeit „*The Normal Biomechanics of the Adult Rearfoot – A Radiographic Analysis*“ ein pathologisch abgesenktes Längsgewölbe bei einem Calcaneusneigungswinkel unterhalb von 17° . Bourdet et al. (2013) beschreiben die untere Grenze des normal ausgebildeten Längsgewölbes mit 15° , während Waldt et al. (2011) die physiologische Untergrenze des Winkels mit 18° angeben.

Die unterschiedliche Grenze zwischen physiologischer Ausprägung des Fußlängsgewölbes und der pathologischen Absenkung beruht auf den verschiedenartigen zugrunde liegenden Messverfahren für den Calcaneusneigungswinkel. Wie bereits in Kapitel 2.6.3 beschrieben, können die Winkelschenkel durch unterschiedlich an den Calcaneus angelegte Tangenten gebildet und die Auftrittsfläche des Fußes mit verschiedenen Landmarken markiert werden. Andernfalls wird die Fußbodenebene für die Messung des Winkels herangezogen. Dadurch können Messwerte für den Calcaneusneigungswinkel in Abhängigkeit von der zugrunde gelegten Messdefinition voneinander abweichen. Oft werden die zugrunde liegenden Messverfahren bei der Angabe der Normalwerte für die Winkel in der Literatur ungenau oder nicht angegeben (Metcalf et al. 2011). Dies muss beim Vergleich der absoluten Messwerte verschiedener Untersuchungen berücksichtigt werden.

Metcalf et al. (2011) beschreiben das Problem der Vergleichbarkeit von in der Literatur angegebenen Messwerten in einer Metanalyse von 76 bis zum Jahr 2010 veröffentlichten Arbeiten über die Ergebnisse nach subtalärer Arthrorise. Hier wird auf die „substanziellen Variationen“ bei der Erhebung „radiologischer Parameter“ und das überwiegende Fehlen von Angaben zu den Messkriterien in den vorhandenen Arbeiten hingewiesen. Die veröffentlichten absoluten Messwerte seien bei fehlenden Angaben zu den Messprozeduren und oft nicht geprüfter Reliabilität der Messwerte nur eingeschränkt miteinander vergleichbar (Metcalf et al. 2011). Bei dem Vergleich der Messwerte verschiedener Untersuchungen ist besonders die Differenz der prä- und postoperativen Messwerte als Ausdruck der durch die subtalare Arthrorise erreichten Längsgewölbeaufrichtung und Reduktion des Rückfußvalgus zu betrachten (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021).

Der Effekt einer Messwertverzerrung soll am Beispiel des Calcaneusneigungswinkels mit verschiedenen Definitionen dargestellt werden.

Bei Anwendung der auf dem Röntgenbild mit abgebildeter Fußbodensebene als Winkelschenkel, statt der Tangente zwischen Tuberculum calcanei und Caputulum des fünften Mittelfußknochens, finden sich deutlich voneinander abweichende Messwerte. Der in der Vorbereitung der vorliegenden Untersuchung angestellte Vergleich von Messergebnissen zeigte Abweichungen von bis zu 5° zwischen den Messungen mit verschiedenen definierten Winkelschenkeln. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Definition des Calcaneusneigungswinkels zeigte dabei im Mittel $3,0^\circ$ höhere Werte für den Calcaneusneigungswinkel als eine Messung mit der abgebildeten Fußbodenebene als definiertem Winkelschenkel (Abbildung 32). Die Entscheidung für die in dieser Untersuchung verwendete Messdefinition erfolgte aufgrund der in dieser Messmethode erreichten maximalen *Intrarater*- und *Interrater*-Reliabilität eigener Messwerte.

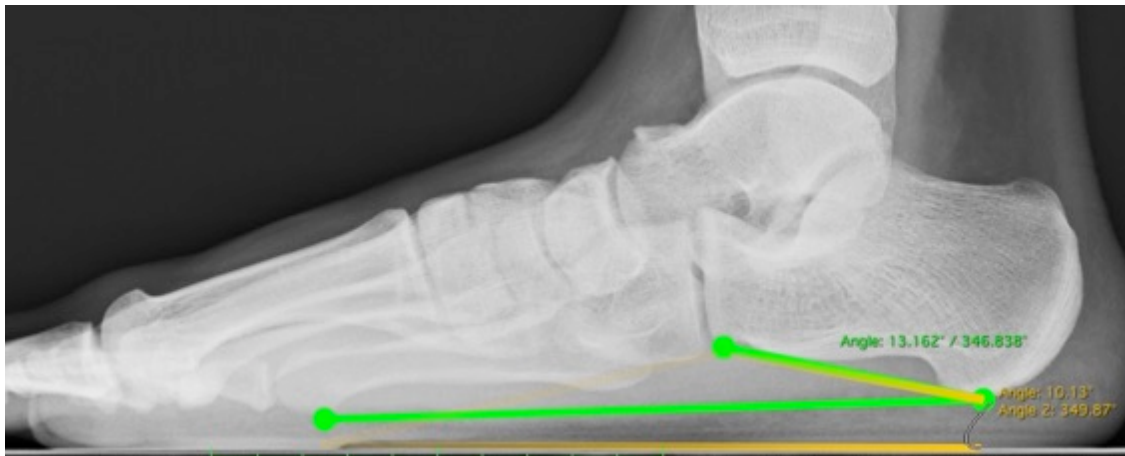


Abbildung 32: Röntgenbild im lateralen Strahlengang mit Darstellung der Messwertdifferenzen des Calcaneusneigungswinkels bei Verwendung unterschiedlicher Winkeldefinitionen

Für die Messergebnisse der vorliegenden Untersuchung wurde die Grenze des pathologisch abgesunkenen Längsgewölbes entsprechend der Definition von Di Giovanni et al. (1976) bei 17° festgelegt. Der aus den Messwerten vorliegender Untersuchung errechnete mittlere präoperative Calcaneusneigungswinkel ist damit im Vergleich zum Normalkollektiv um im Mittel $1,95^\circ$ erniedrigt. Im Vergleich mit in der Literatur veröffentlichten Messwerten erscheint der im untersuchten Kollektiv präoperative Calcaneusneigungswinkel gering reduziert. Tan et al. (2021) berichten in ihrer Metaanalyse über einen aus 5 untersuchten Arbeiten ($n = 1006$ Füße) errechneten mittleren präoperativen Calcaneusneigungswinkel von $12,5^\circ$ und eine damit im Vergleich zum Normalkollektiv vorliegende Reduktion von $4,5^\circ$ (Gutiérrez und Lara 2005; De Pellegrin et al. 2014; Cao et al. 2017; Indino et al. 2020; Memeo et al. 2019). Die Differenz der vorliegenden Messwerte und dem von Tan et al. (2021) aus Arbeiten der vergangenen zehn Jahre errechneten mittleren Calcaneusneigungswinkel ist in der oben beschriebenen, divergierenden

Winkeldefinition begründet. Lamm et al. (2016) beschreiben die Winkeldefinition des *calcaneal pitch* als „den Winkel zwischen der plantaren Seite des Calcaneus und der gewichtstragenden Bodenfläche“. In der überwiegenden Anzahl der von Tan et al. (2021) ausgewerteten Untersuchungen werden keine Angaben über die zugrundeliegenden Winkeldefinitionen gemacht. Unter Berücksichtigung der mittleren Abweichung von 3° bei möglicher Verwendung verschiedener Winkeldefinitionen stimmen der mittlere präoperative Calcaneusneigungswinkel vorliegender Untersuchung und das Ergebnis von Tan et al. (2021) überein. Im Vergleich zu dem von Metcalfe et al. (2011) aus den Ergebnissen von acht Untersuchungen errechnetem präoperativen Calcaneusneigungswinkel von $14,3^\circ$ ohne Angabe der zugrundeliegenden Winkeldefinition beträgt die Abweichung von den eigenen Messwerten lediglich $0,75^\circ$.

In der Betrachtung der Verteilung der erhobenen Messwerte für den Calcaneusneigungswinkel um den Mittelwert fallen Messwerte oberhalb der pathologischen Grenze von 17° auf. Damit wäre jedoch, bei einzelnen in die Untersuchung eingeschlossenen Füßen, das Längsgewölbe, in Abhängigkeit von der zugrunde gelegten pathologischen Grenzdefinition, nicht im Sinne eines Knickplattfußes abgesunken. Entsprechend den Einschlusskriterien vorliegender Untersuchung ist jedoch die Diagnose einer pathologischen Knickplattfußstellung auch bei gering oder nicht pathologisch verändertem Calcaneusneigungswinkel bei gleichzeitig pathologisch veränderten Messwerten der zwei weiteren Winkelmessungen möglich. Bei allen in die Untersuchung eingeschlossenen Füßen wurden bei mindestens zwei der drei erhobenen Winkel pathologisch definierte Winkelgrade erhoben (DiGiovanni und Smith 1976; Vanderwilde et al. 1988).

Der im Vergleich zu gesunden Füßen erniedrigte mittlere Calcaneusneigungswinkel spiegelt die durchschnittliche Absenkung des Fußlängsgewölbes im untersuchten Kollektiv wider und bestätigt damit das Vorliegen einer Komponente des Knicksenkfußes zum Zeitpunkt vor der Operation als Teil der Arbeitshypothese I. Die präoperativ im untersuchten Kollektiv festgestellte mittlere Reduktion des Calcaneusneigungswinkels ist mit den in der Literatur angegebenen Messwerten zu vergleichen (Metcalfe et al. 2011; Tan et al 2021).

Die Auswertung der Messergebnisse am postoperativen Röntgenbild ergab einen mittleren Calcaneusneigungswinkel von $17,4^\circ$ im untersuchten Kollektiv. Entsprechend der von Di Giovanni und Smith (1976) definierten Untergrenze für den physiologischen Calcaneusneigungswinkel von 17° wurde am postoperativen Röntgenbild im Mittel ein physiologischer Calcaneusneigungswinkel erhoben. Die im präoperativen Röntgenbild durch den erniedrigten Calcaneusbodenwinkel nachgewiesene pathologische Längsgewölbeabflachung ist am postoperativen Röntgenbild aufgehoben.

Die Verteilung der am postoperativen Röntgenbild erhobenen Messwerte zeigt solche unterhalb der physiologischen Grenze von 17° . Entsprechend den Einschlusskriterien der vorliegenden Untersuchung zum Nachweis einer präoperativen Fehlstellung, wurden

pathologische Abweichungen der am postoperativen Röntgenbild erhobenen Winkel für einen der drei erhobenen Winkel bei gleichzeitigem Vorliegen von zwei im physiologischen Bereich liegenden Messwerten toleriert und als physiologische Fußstellung bewertet. Der kleinste am postoperativen Röntgenbild gemessene Calcaneusneigungswinkel beträgt $12,2^\circ$. Bei diesem Patienten entspricht der postoperative Talocalcaneuswinkel ebenfalls nicht dem als physiologisch definierten Messwertebereich. Die postoperative Fußstellung wurde bei diesem Patienten daher unter anderem anhand der radiologischen Kriterien als unzureichend beurteilt und dieser Fall als Komplikation bewertet. Diese wird in Kapitel 4.3.1 eingehend diskutiert.

In Tabelle 28 werden die eigenen Ergebnisse für den Calcaneusneigungswinkel in Bezug zu bereits veröffentlichten Ergebnissen dargestellt. Tan et al. (2021) berichten von einem aus fünf Arbeiten ($n = 1006$ Füße) errechneten mittleren postoperativen Calcaneusneigungswinkel von $15,7^\circ$. Metcalfe et al. (2011) errechneten einen mittleren postoperativen Calcaneusneigungswinkel von $16,5^\circ$ aus den in acht eingeschlossenen Untersuchungen angegebenen Messwerten. Die Abweichung eigener Ergebnisse von den in Metaanalysen dargestellten begründet sich in der oben beschriebenen unterschiedlichen Definition der Winkelmessung. In Abhängigkeit von der als zwischen physiologisch und pathologisch definiertem Calcaneusneigungswinkel liegenden Grenze sind sowohl die eigenen als auch die von Tan et al. (2021) und Metcalfe et al. (2011) veröffentlichten Winkelgrade für den Calcaneusneigungswinkel präoperativ als reduziert und postoperativ als physiologisch zu bewerten. Tan et al. (2021) geben für den Calcaneusneigungswinkel die von Bourdet et al. (2013) definierte Grenze von 15° und darunter als pathologisch an. Metcalfe et al. (2011) machen dazu keine Angaben.

Tabelle 28: Vergleich der mittleren prä- und postoperativen Calcaneusneigungswinkel (Metcalfe et al. 2011; Tan et al. 2021)

	Ergebnisse	Tan et al.(2021)	Metcalfe et al.(2011)
Anzahl untersuchter Füße	49	1006	306
präopCP	15,05	12,50	14,30
postopCP	17,41	15,70	16,50
Δ präopCP/postopCP	2,36	3,19	2,20

Die Differenz zwischen den am prä- und postoperativen Röntgenbild erhobenen Messwerte beschreibt die durch die subtalare Arthorise hervorgerufene Stellungsveränderung des Calcaneus. Die mittlere Zunahme des Calcaneusneigungswinkels im untersuchten Kollektiv zwischen prä- und postoperativem Röntgenbild beträgt $2,4^\circ$. Der Vergleich eigener mit den von Tan et al. (2021) und Metcalfe et al. (2011) veröffentlichten Ergebnissen zeigt in allen Untersuchungen eine Zunahme des Calcaneusneigungswinkels durch die subtalare Arthorise. Die mittleren Differenzen zwischen dem prä- und

postoperativen Calcaneusneigungswinkel sind somit auf einem Niveau miteinander vergleichbar.

Der im untersuchten Kollektiv gemessene mittlere Calcaneusneigungswinkel ist präoperativen außerhalb der als physiologisch definierten Grenzen als Ausdruck eines abgeflachten Längsgewölbes pathologisch erniedrigt. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen ist der Calcaneusneigungswinkel in der vorliegenden Untersuchung auf einem vergleichbaren Niveau. Postoperativ ist der mittlere Calcaneusneigungswinkel im Vergleich zu den präoperativen Messwerten in den als physiologisch definierten Bereich angehoben und beschreibt damit ein durch die subtalare Arthrorise rekonstruiertes physiologisches Längsgewölbe. Sowohl die postoperative Stellung als auch die intraoperative Stellungskorrektur durch subtalare Arthrorise sind mit in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen vergleichbar. Die Arbeitshypothesen I und II sind damit in Bezug auf den Calcaneusneigungswinkel bestätigt.

4.1.2.2 Talusbasisreferenzwinkel

Zur weiteren Objektivierung der präoperativ am untersuchten Kollektiv im Rahmen der Knickplattfußstellung bestehenden Längsgewölbereduktion wurde der Talusbasisreferenzwinkel erhoben. Dieser beträgt präoperativ $40,19^\circ$. Die gemessenen Maximalwerte liegen zwischen $34,55^\circ$ und $47,63^\circ$.

Wald et al. (2011) beziffern die Obergrenze der physiologischen Fußstellung zum pathologischen Knickplattfuß bei 35° . Vanderwilde et al. (1988) geben die Obergrenze der Talusdeclination bei gesunden Neunjährigen mit 36° bei einem Mittelwert von 25° an. Gentili et al. (1996) geben einen Referenzbereich für den *Talar declination angle* von 21° bis 24° beim Erwachsenen an.

Auch bei der Erhebung des Talusbasisreferenzwinkels werden in der Literatur verschiedene Definitionen zur Messung am Röntgenbild verwendet. Die Bestimmung der Taluslängsachse erfolgte entsprechend den in Kapitel 2.6.4 beschriebenen und von Kido et al. (2019) mit der höchsten *Intrarater*- und *Interrater*-Reliabilität validierten Messkriterien. Die Fußbodenebene als zweiter Schenkel des Talusbasisreferenzwinkels wurde wie beim Calcaneusneigungswinkel zwischen dem tiefsten Punkt des *Tuber calcaneum* und dem caudalen Pol des *Capitulum* des fünften Mittelfußknochens gebildet. Im Gegensatz zum Calcaneusbodenwinkel sind die gemessenen Winkelgrade mit der in dieser Untersuchung verwendeten Messdefinition des caudalen Winkelschenkels im Vergleich mit der Messung des Winkels an der Fußbodenebene diskret erniedrigt (Abbildung 33).

Die Grenze der physiologischen Fußstellung und der pathologischen Knickplattfußstellung wurde in vorliegender Untersuchung in Bezug auf den Talusbasisreferenzwinkel entsprechend der für diesen Winkel in der Literatur überwiegend genutzten Ergebnisse von Vanderwilde et al. (1988) als Teil der Einschlusskriterien festgelegt. Vanderwilde et al. (1988) beschreiben einen mittleren Talusbasisreferenzwinkel

von 25° mit einem Referenzbereich bis 36° als Grenze der pathologischen Knickplattfußstellung. In Bezug auf die gemessenen Winkelgrade des vorliegenden Kollektivs bedeutet das eine Abweichung des mittleren Talusbasisreferenzwinkels vor Operation von $4,2^\circ$ vom Grenzwert. In Bezug zum Mittelwert von 25° wird die mittlere Abweichung des Talusbasisreferenzwinkels von $15,2^\circ$ deutlicher und die im Kollektiv morphologisch diagnostizierte Längsgewölbeabflachung objektiviert.

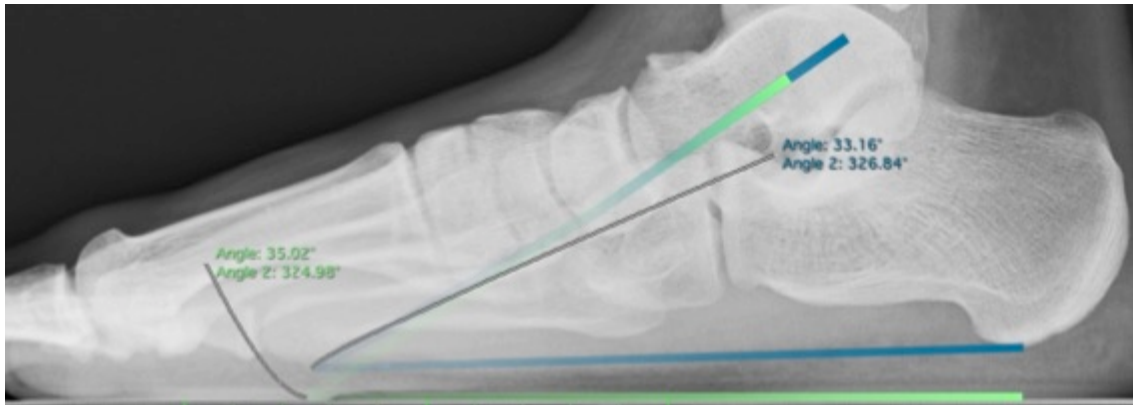


Abbildung 33: Röntgenbild im lateralen Strahlengang mit Darstellung der Messwertdifferenzen des Talusbasisreferenzwinkels bei Verwendung unterschiedlicher Winkeldefinitionen

In Tabelle 29 werden die eigenen Ergebnisse für den Talusbasisreferenzwinkel in Bezug zu den Ergebnissen von Metcalfe et al. (2011) dargestellt. Metcalfe et al. (2011) errechneten aus Daten von neun in die Analyse des Talusbasisreferenzwinkels eingeschlossenen Arbeiten ($n = 406$ Füße) einen mittleren präoperativen Talusbasisreferenzwinkel von $39,0^\circ$ (Smith und Millar 1983; Smith und Wagreich 1984; Lundeen 1985; Addante et al. 1992; Viladot 1992; Tompkins et al. 1993; Forg et al. 2001; Nelson et al. 2004; Cicchinelli et al. 2008). Detaillierte Angaben zu den verwendeten Messkriterien werden von den Autoren zu diesen Messwerten jedoch nicht gemacht. Unter Berücksichtigung möglicher Messwerteabweichungen durch verschiedene zugrunde liegende Messkriterien ist der in dieser Arbeit erhobene präoperative Talusbasisreferenzwinkel mit den in der Literatur angegebenen Werten vergleichbar. Die mittleren für jeden eingeschlossenen Fuß am präoperativen Röntgenbild gemessenen Winkelgrade sind bis auf den kleinsten gemessenen Wert alle oberhalb der als pathologisch festgesetzten Grenze von 36° .

Tabelle 29: Vergleich der mittleren prä- und postoperativen Talusbasisreferenzwinkel (Metcalfe et al. 2011)

	Ergebnisse	Metcalfe et al.(2011)
Anzahl untersuchter Füße	49	406
präopTD	40,19	39,00
postopTD	24,78	24,50
Δ präopTD/postopTD	15,41	14,50

Der mittlere Talusbasisreferenzwinkel nach subtalärer Arthorise beträgt $24,8^\circ$ und liegt entsprechend den Referenzwerten von Vanderwilde et al. (1988) nah an dem festgelegten Referenzwert. Der mittlere Talusbasisreferenzwinkel und alle am postoperativen Röntgenbild erhobenen Messwerte liegen innerhalb der als physiologisch definierten Grenzen. Die durch die subtaläre Arthorise veränderte Stellung des Fußes wird durch die mittlere Differenz zwischen prä- und postoperativem Talusbasisreferenzwinkel von $15,4^\circ$ deutlich. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Metcalfe et al. (2011) zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede in den Ergebnissen.

Damit ist die Längsgewölbeabflachung bei pathologisch reduziertem Talusbasisreferenzwinkel zum Zeitpunkt vor der Operation und das durch die subtaläre Arthorise rekonstruierte Längsgewölbe objektiviert und die im untersuchten Kollektiv präoperativ und postoperativ korrigierte Plattfußstellung als ein bedingender Teil der Arbeitshypothese I bestätigt. Die eigenen Ergebnisse sind bezogen auf den Talusbasisreferenzwinkel mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen auf einem Niveau vergleichbar und bestätigen damit einen weiteren Teil der Arbeitshypothese II.

4.1.2.3 Talocalcanearwinkel

Der vermehrte Rückfußvalgus ist neben der Längsgewölbeabflachung eine weitere Komponente der Knickplattfußstellung und wird im Röntgenbild im dorsoplantaren Strahlengang durch den vergrößerten Talocalcanearwinkel (TC-Winkel) nachvollzogen. Der präoperative mittlere Talocalcanearwinkel des untersuchten Kollektivs beträgt $46,5^\circ$.

Die Normwerte für den Talocalcanearwinkel werden in der Literatur unterschiedlich angegeben (Vanderwilde et al. 1988; Ippolito et al. 2004; Waldt et al. 2011). Wie bereits vormals erläutert, ist die Erhebung der Winkel in verschiedenen Arten beschrieben. Es resultiert insbesondere für den Talocalcanearwinkel im dorsoplantaren Strahlengang eine große Varianz gefundener Messergebnisse im Vergleich zu den im lateralen Strahlengang erhobenen Winkelgraden. Younger et al. (2005) schlagen die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Landmarken zur Erhebung der Taluslängsachse entsprechend der eigenen Ergebnisse mit der höchsten *Intrarater*- und *Interrater*-Korrelation vor.

Die unterschiedlichen Messergebnisse für den Talocalcanearwinkel sind auch in den morphologischen Besonderheiten des kindlichen, noch nicht vollständig entwickelten Talus begründet. Im Kleinkindalter weicht die Achse des Talushalses in Bezug zum Taluskorpus wesentlich von der Talushalsachse im Erwachsenenalter ab. Der Talushals und damit auch der Taluskopf sind in Bezug zur Trochlea tali deutlich nach medial und caudal abweichend ausgerichtet. Während der Entwicklung des Fußes kommt es durch das asymmetrische Längswachstum des Talushalses zu einer Reduktion der medialen und caudalen Ausrichtung des Taluskopfes bezogen auf die Ausgangsposition (Kelikian und Sarrafian 2011). Abbildung 34 a und b stellen die während der Entwicklung des Talus stattfindende Veränderung der Talushalsachse zur Taluskorpusachse in der Aufsicht von oben dar.

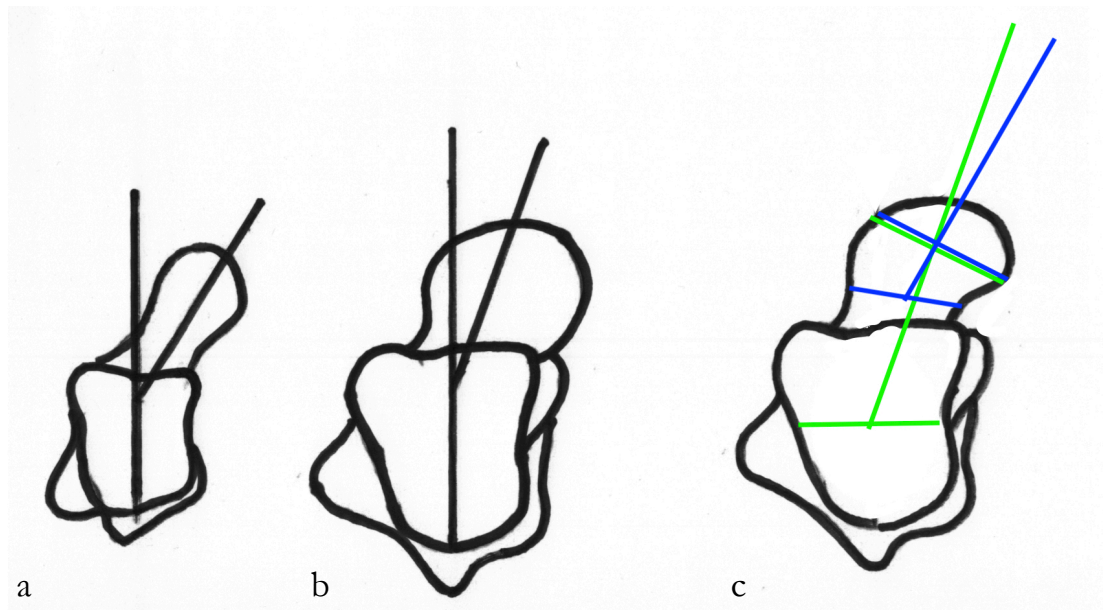


Abbildung 34: grafische Darstellung der Talusentwicklung: Medialdeviation des Taluskopfes gegenüber dem Taluskorpus im Kleinkindalter (a), reduzierte Medialdeviation des Taluskopfes im Erwachsenenalter (b), verschiedene Definition der Messpunkte für die Taluslängsachse mit voneinander abweichendem Ergebnis (grüne Linien als Markierung der Taluslängsachse an Taluskorpus und Taluskopf, blaue Linien als Markierung der Taluslängsachse an Taluskopf und Talushals)

Bei der Messung des Talocalcanearwinkels mit einer Messdefinition für die Taluslängsachse, die den Mittelpunkt der Strecke zwischen lateraler und medialer Begrenzung der Trochlea tali einbezieht, kommt es, verglichen mit der in vorliegender Untersuchung verwendeten Methode, zu verringerten Messwerten (Abbildung 34 c). Die Auswertung eigener Messwerte mit oben genannten Messkriterien ergibt eine mittlere Abweichung der Messwerte zwischen den genannten Definitionen von 10° bis 15° . Die Ausprägung der Abweichung zwischen den Messkriterien hängt dabei stark vom Alter der Patienten und der damit verbundenen Talusentwicklung ab. Bei jungen Probanden mit wenig entwickeltem Talus und damit starker Abweichung der Talushalsachse von der Taluskorpusachse ist die Differenz der Messergebnisse zwischen den Messungen mit verschiedener Definition der Taluslängsachse stärker ausgeprägt als beim jungen Erwachsenen mit fortgeschrittener Talusentwicklung und weniger stark voneinander abweichenden Achsen von Talushals und Taluskorpus.

Durch die mehrdimensionale Abweichung der Talushalsachse gegenüber der Taluskorpusachse wird die Differenz der Messwerte auch durch den Grad der Fehlstellung beeinflusst. In der Sagittalebene ist der Talushals gegenüber dem Taluskorpus plantarwärts inkliniert (Kelikian und Sarrafian 2011). Mit zunehmender Valgusstellung und Aussenrotationstellung des Calcaneus wird der noch nicht vollständig entwickelte und damit vermehrt inklinierte Talushals, in der für das Röntgenbild definierten Einstelltechnik mit gewichtsbelastetem Stand auf dem Fuß in der koronaren Ebene, in der Aufsicht von dorsal

entgegen dem Uhrzeigersinn rotiert. Auf dem Röntgenbild im dorsoplantaren Strahlengang mit Markierung der Taluslängsachse am Talushals und Taluskopf (Abbildung 34 c, blaue Markierung) wird die Medialrotation der Taluslängsachse mit zunehmender Fehlstellung des Rückfußes überproportional ausgeprägt dargestellt. Bei Markierung der Taluslängsachse am Talushals und Taluskorpus (Abbildung 34 c, grüne Markierung) ist dieser Effekt weniger stark ausgeprägt. Die Differenz der Messwerte für den Talocalcanearewinkel zwischen den verschiedenen Achsdefinitionen nimmt daher mit zunehmender Ausprägung der Fehlstellung zu. In Abhängigkeit vom Ausprägungsgrad der Fehlstellung und vom Patientenalter finden sich Abweichungen der Messergebnisse von 10 bis 15°. Kido et al. (2019 und 2020) kommen in den Untersuchungen zur „Reproduzierbarkeit der Taluslängsachsen im Röntgenbild“ am gesunden Fuß und am Fuß mit „ausgeprägter Knickplattfußstellung“ zu vergleichbaren Ergebnissen (Kido et al. 2019; Kido et al. 2020).

In der großen Variation der veröffentlichten Messwerte spielt nicht nur die Anwendung verschiedener Messkriterien, sondern auch die Messqualität selbst eine Rolle. Green (1998) beschreibt den Kite-Winkel als „eine Schätzung der Divergenz zwischen Calcaneus und Talus“. Dies wird auch in den Ergebnissen der Untersuchung der Korrelation der erhobenen Messwerte deutlich. In der Untersuchung der *Interrater*-Reliabilität der eigenen Messwerte zeigt sich die niedrigste errechnete Korrelation für die Messungen des Talocalcanearewinkels. Die Berechnung der mittleren Korrelation der Messwerte des Talocalcanearewinkels ergibt einen Korrelationskoeffizienten von $r=0,774$. Im Vergleich mit den von Radler et al. (2010) veröffentlichten Werten ($r=0,61$) zeigen die eigenen Messwerte eine stärkere, jedoch im Vergleich zu den am Röntgenbild im lateralen Strahlengang erhobenen Messwerten geringere Korrelation. Dies ist in der, im Gegensatz zu der eindeutigen Abgrenzbarkeit des Talus gegenüber dem Calcaneus im lateralen Röntgenbild, oft reduzierten Abgrenzbarkeit des mit dem Calcaneus zu großen Teilen überlagerten Darstellung des Talus begründet. Die als Messpunkte definierten Landmarken werden offenbar durch verschiedene Untersucher in mehreren Fällen unterschiedlich interpretiert. Allerdings kann die *Interrater*-Reliabilität der vorliegenden Messwerte weiterhin als mittelstark korrelierend bezeichnet werden.

Die von Ippolito et al. (2004) veröffentlichte Validierung des am Röntgenbild im dorsoplantaren Strahlengang erhobenen Talocalcanearewinkels mit Korrelation der Messwerte zu computertomographisch erhobenen Messwerten unterstützt die Verwendung dieses Winkels in der vorliegenden Untersuchung. Der Talocalcanearewinkel misst die divergierende Rotation von Talus und Calcaneus und bildet im Vergleich mit anderen Winkeln die vermehrte Eversion des Calcaneus im Verhältnis zum Talus im dorsoplantaren Röntgenbild sehr gut ab. Allerdings beschreiben Ippolito et al. (2004) eine Verzerrung der Messergebnisse in Abhängigkeit von der Ausprägung der Fehlstellung. Bei „normalen Füßen“ würde der am Röntgenbild erhobene Talocalcaneare Winkel in 98% mit den in den Bildern der Computertomographie erhobenen Winkel übereinstimmen. Mit zunehmender Fehlstellung wäre die Übereinstimmung der Messwerte geringer.

Eine genauere Darstellung der subtalaren Eversionsstellung gelingt konventionell mit einer Schrägaufnahme zur Darstellung der Rückfußachse, dem sog. *Saltzman-View* (Neri et al. 2017). Da diese jedoch üblicherweise nicht Teil der standardisierten Röntgendiagnostik des Fußes bei Kindern ist, wird in der vorliegenden Untersuchung und in der überwiegenden Zahl bereits veröffentlichter Ergebnisse darauf kein Bezug genommen.

Legt man die von Vanderwilde et al. (1988) veröffentlichten Normalwerte für den Talocalcaneärwinkel von 11° bis 34° zugrunde, weicht das vorliegende Kollektiv im Mittel um $12,5^\circ$ in Richtung der vermehrten Rückfußversion davon ab und objektiviert damit die weitere, den Knickplattfuß definierende Komponente mit präoperativ vermehrtem Rückfußvalgus im untersuchten Kollektiv als Teil der Arbeitshypothese I.

Metcalf et al. (2011) berichten über einen aus drei eingeschlossenen Arbeiten ($n=175$ Füße) errechneten mittleren Kite-Winkel vor Operation von 28° (Forg et al. 2001; Nelson et al. 2004; Scharer et al. 2010). Tan et al. (2021) berichten von einem, aus drei in die Winkelauswertung eingeschlossenen Arbeiten ($n = 512$ Füße), errechneten mittleren Talocalcaneärwinkel von $28,8^\circ$ (Scharer et al. 2010; Wen et al. 2017; Memeo et al. 2019). Die Abweichung der in vorliegender Untersuchung erhobenen und den in der Literatur beschriebenen Messwerten ist durch Anwendung verschiedener Definitionen der Taluslängsachse erklärbar. Berücksichtigt man die mittlere Abweichung von 15° zwischen den Messmethoden würde der mittlere präoperativ in vorliegendem Kollektiv gemessene Talocalcaneärwinkel einem Wert von $31,5^\circ$ entsprechen und wäre vergleichbar mit den in der Literatur veröffentlichten Messwerten. Angaben zu den verwendeten Messkriterien werden in den von Tan et al. (2021) und Metcalf et al. (2011) ausgewerteten Arbeiten nicht gemacht. Veröffentlichte Röntgenbilder und schematische Darstellungen der in diesen Untersuchungen erhobenen Winkel bilden lediglich eine Taluslängsachse ohne Hinweis auf zugrundeliegende Landmarken ab.

In der Betrachtung der Verteilung erhobener Messwerte liegt der kleinste präoperativ gemessene Talocalcaneärwinkel unterhalb der von Vanderwilde et al. (1988) veröffentlichten physiologischen Grenze der talocalcaneären Divergenz. Alle weiteren gemessenen Winkelgrade entsprechen einem als pathologisch definierten Talocalcaneärwinkel.

Der mittlere am postoperativen Röntgenbild erhobene Talocalcaneärwinkel beträgt $31,5^\circ$. Die Differenz zwischen prä- und postoperativem Talocalcaneärwinkel als Ausdruck der durch die subtalare Arthrorise reduzierten Rotation des Calcaneus unter dem Talus und damit verringerter Rückfußversion beträgt 15° . In Bezug zu den von Vanderwilde et al. (1988) für den Talocalcaneärwinkel mit 34° festgelegten Obergrenze ist der mittlere postoperative Talocalcaneärwinkel des untersuchten Kollektivs als physiologisch zu bezeichnen. In der Betrachtung der Verteilung der am postoperativen Röntgenbild gemessenen Talocalcaneärwinkel überschreiten einzelne Messwerte diese Obergrenze. Wie vorangegangen bereits erläutert, wurden auch für den Talocalcaneärwinkel die postoperativen Messergebnisse überprüft. Bei Vorliegen eines als pathologisch definierten

Messwertes und eines weiteren im pathologischen Bereich gemessenen Winkels wurde der untersuchte Fall als Komplikation gewertet. Eine entsprechende Darstellung wird in Kapitel 4.3.1 diskutiert.

Tabelle 30: Vergleich der mittleren prä- und postoperativen Talocalcanearwinkel (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021)

	Ergebnisse	Tan et al.(2021)	Metcalf et al.(2011)
Anzahl untersuchter Füße	49	512	175
präopTC	46,49	28,82	28,00
postopTC	31,47	18,13	20,00
Δ präopTC/postopTC	15,02	10,70	8,00

In den Metaanalysen der Behandlungsergebnisse nach subtalarer Arthorise berichten Tan et al. (2021) von einer mittleren Reduktion des Talocalcanearwinkels von $10,7^\circ$ bei einem mittleren postoperativen Talocalcanearwinkel von $18,1^\circ$ und Metcalfe et al. (2011) von einem mittleren postoperativen Talocalcanearwinkel von $20,0^\circ$ mit einer mittleren Reduktion von $8,0^\circ$. Dem gegenüber erscheinen die eigenen Ergebnisse mit einer intraoperativ erreichten Korrektur des Talocalcanearwinkels von $15,0^\circ$ und einem mittleren postoperativen Talocalcanearwinkel von $31,5^\circ$ von den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen abzuweichen. Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Abweichungen der Messergebnisse für den TC-Winkel bei verschiedenen Landmarken für die Taluslängsachse sind sowohl die intraoperative Korrektur als auch die postoperative Stellung des Talus zum Calcaneus der eigenen Ergebnisse mit den der Literatur zu vergleichen. Die postoperativen Messwerte für den Talocalcanearwinkel der vorliegenden Untersuchung als auch die veröffentlichten Ergebnisse anderer Untersuchungen sind im Vergleich zu den Messwerten vor subtalarer Arthorise signifikant reduziert.

Die vorliegenden Ergebnisse für den Talocalcanearwinkel bestätigen die im untersuchten Kollektiv präoperativ vorliegende Fehlstellung des Rückfußes und die durch die subtalare Arthorise hervorgerufene Korrektur mit postoperativ physiologischer Rückfußstellung als Teil der Arbeitshypothese I. Des Weiteren sind die vorliegenden Ergebnisse in Bezug auf präoperative Fehlstellung, postoperative Stellung des Fußes und intraoperative Korrektur mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen vergleichbar und bestätigen damit ebenfalls einen Teil der Arbeitshypothese II.

4.2 Arbeitshypothese III und IV

In Arbeitshypothese III wurde erwartet, dass durch die subtalare Arthorise mit dem Vario Subtalar-System[®] die von den Patienten präoperativ berichteten Beschwerden reduziert werden. Darüber hinaus wurde erwartet, dass die im Rahmen der präoperativen körperlichen Untersuchung festgestellte Knickplattfußstellung durch die subtalare Arthorise

in eine physiologische Fußstellung mit entsprechender Ausrichtung des Rückfußes und regelrecht ausgebildetem Längsgewölbe überführt werden kann. Zur objektiven Erfassung und Dokumentation des Untersuchungsbefundes und der geklagten Beschwerden wurde die Ankle-Hindfoot-Scale der American Orthopaedic Foot and Ankle Society angewendet und für jeden eingeschlossenen Patienten ein präoperativer und ein postoperativer AOFAS-*Score* ermittelt. Es wurde des Weiteren erwartet, dass die zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhobenen AOFAS-*Scores* nicht das Niveau von gesunden Probanden erreichen.

In Arbeitshypothese IV wurde erwartet, dass die Ergebnisse der AOFAS-AHS vergleichbar mit Ergebnissen bereits veröffentlichter Untersuchungen sind.

Die Auswertung der Ergebnisse der Befragung mit der AOFAS-AHS bestätigt die Arbeitshypothese III. Der präoperative mittlere AOFAS-*Score* ist seitens der geschilderten Beschwerden und der in der körperlichen Untersuchung diagnostizierten Fußfehlstellung im Vergleich zum Normalkollektiv signifikant reduziert. Nach durchgeführter subtalarer Arthrorise ist der mittlere AOFAS-*Score* mit reduzierten klinischen Beschwerden und physiologischer Stellung der untersuchten Füße signifikant verbessert. Der postoperativ mittlere AOFAS-*Score* ist jedoch im Vergleich zum Normalkollektiv weiter reduziert.

Im Vergleich mit veröffentlichten Ergebnissen anderer Untersuchungen über die Behandlung des kindlichen Knickplattfußes zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede. Die Arbeitshypothese IV ist damit ebenfalls bestätigt.

Der erhobene mittlere AOFAS-*Score* vor stattgehabter subtalarer Arthrorise beträgt 62,76 Punkte und ist gegenüber dem AOFAS-*Score* von Probanden des Normalkollektives ohne Fehlstellung oder Beschwerden um 37,24 Punktwerte reduziert. Der im Vergleich zum Normalkollektiv bei den untersuchten Patienten verminderte AOFAS-*Score* begründet sich durch den in der klinischen Untersuchung erhobenen Befund einer in unterschiedlicher Ausprägung vorliegenden Knickplattfußfehlstellung als Teil der Einschlusskriterien der vorliegenden Untersuchung und den für den Knickplattfuß typischen geklagten Funktionseinschränkungen und Beschwerden.

Bei der Nachuntersuchung drei Monate nach stattgehabter Arthrorise wurde ein mittlerer AOFAS-*Score* von 88,57 Punkten erhoben. Die Veränderung der absoluten Punktwerte in Bezug auf jeden Patienten mit einem mittleren Anstieg der Punktwerte um 25,81 Punkte ist in der Varianzanalyse statistisch signifikant ($p < 0,001$). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die subtalare Arthrorise sowohl den Untersuchungsbefund als auch das Funktions- und Beschwerdebild der Patienten verändert hat. Weitere während des Untersuchungszeitraumes auf die Fußstellung und das Funktionsbild bestehende Einflüsse, wie das natürliche Fußwachstum oder eine spontane Entwicklung des Fußes durch muskuläre Korrektur der Fehlstellung, sind in einem Zeitraum von drei Monaten vernachlässigbar. Die signifikante Zunahme des mittleren AOFAS-*Scores* zwischen präoperativem Zeitpunkt und der Verlaufskontrolle (T4) ist der Wirkung der subtalaren Arthrorise zuzuschreiben. Der mittlere AOFAS-*Score* nach subtalarer Arthrorise von 88,57

Punkten ist im Vergleich zum AOFAS-Score bei Probanden ohne Beschwerden oder Fehlstellung um 11,43 Punkte reduziert.

Das Behandlungsergebnis der subtalaren Arthrorise aus der Sicht des Patienten wird in veröffentlichten Arbeiten oft nicht angegeben. Wird die Patientenzufriedenheit erhoben, wird diese überwiegend ohne Verwendung validierter Scores mit den Patientenangaben „exzellent“, „gut“, „mäßig“ oder „schlecht“ sowie den Angaben, ob die Operation erneut durchgeführt werden würde kategorisiert (Addante et al. 1992; Tompkins et al. 1993; Verheyden et al. 1997; Sanchez et al. 1999; Forg et al. 2001; Giannini et al. 2003; Giannini et al. 2017; Koning et al. 2009; Kellermann et al. 2011; Metcalfe et al. 2011; Tan et al. 2021).

In Tabelle 31 sind die Ergebnisse von Untersuchungen aufgeführt, die das Behandlungsergebnis der subtalaren Arthrorise mit einer Befragung der eingeschlossenen Patienten durch die AOFAS-AHS erhoben und sowohl den präoperativ als auch den postoperativ erhobenen mittleren AOFAS veröffentlicht haben. Aus diesen Ergebnissen wurden die mittleren in der Literatur angegebenen AOFAS-Scores vor und nach subtalarer Arthrorise, unter Berücksichtigung der Anzahl untersuchter Füße, errechnet. Im Vergleich der Ergebnisse der Befragung des vorliegenden Patientenkollektivs mit den errechneten, gewichteten Mittelwerten zeigen sich alle Vergleichspaare auf ähnlichem Niveau. Der an vorliegendem Kollektiv erhobene AOFAS-Score ist im Vergleich zum mittleren aus den in der Literatur angegebenen Ergebnissen errechneten AOFAS-Score präoperativ um 2,5 Punkte und postoperativ 3,3 Punkte höher (Viladot et al. 2003; Lee et al. 2006; Needleman 2006; Jay und Din 2013; Ozan et al. 2015; Cao et al. 2017; Ceccarini et al. 2018; Megremis und Megremis 2019). Der Vergleich, der durch die subtalare Arthrorise erreichten Veränderungen des AOFAS-Score zeigt eine Differenz von 0,8 Punkten. Im Hinblick auf die große Varianz der in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse sind die angegebenen Differenzen zwischen den errechneten Mittelwerten und den vorliegenden Ergebnissen vernachlässigbar. Die in vorliegendem Kollektiv präoperativ und postoperativ im ersten Teil der AOFAS-AHS von den Patienten angegebenen Schmerzen und Funktionseinschränkungen und der im zweiten Teil durch den Untersucher erhobene Untersuchungsbefund des Fußes entsprechen den in der Literatur angegebenen Beschwerden und Untersuchungsbefunden. In Tabelle 31 werden die in der Literatur gefundenen Ergebnisse den vorliegenden Ergebnissen gegenübergestellt.

In der Betrachtung der einzelnen Fragen der AOFAS-AHS finden sich charakteristisch gruppiert verteilte Antworten und Untersuchungsbefunde von den Patienten des untersuchten Kollektivs. Im Folgenden sollen die von den Patienten beschriebenen Schmerzen, die Funktion und die Ausrichtung entsprechend der Einteilung der AOFAS-AHS näher betrachtet und diskutiert werden. In der Regel werden die kumulierten Ergebnisse der AOFAS-AHS als summierter AOFAS-Score, nicht aber die Ergebnisse der einzelnen Fragen in der Literatur veröffentlicht. Der Vergleich der eigenen Ergebnisse der AOFAS-AHS in Bezug auf einzelne Fragen mit den Ergebnissen anderer veröffentlichter Arbeiten ist daher nur mit ausgewählten Arbeiten möglich.

Tabelle 31: Übersicht veröffentlichter Ergebnisse der Befragung mit der AOFAS-AHS vor und nach subtalarer Arthorise und Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen (Viladot et al. 2003; Lee et al. 2006; Needleman 2006; Jay und Din 2013; Ozan et al. 2015; Cao et al. 2017; Ceccarini et al. 2018; Megremis und Megremis 2019)

Autor	Anzahl Füße	präopAOFAS	postopAOFAS	Differenz
Viladot et al. (2003)	19	47,2	81,6	34,4
Needleman (2006)	28	52	87	35
Lee et al. (2006)	16	71,9	91,3	19,4
Jay und Din (2013)	34	67,7	89,0	21,3
Ozan et al. (2015)	26	53	75	22
Cao et al. (2017)	27	71,1	88,1	17
Ceccarini et al. (2018)	31	54,2	81,9	27,7
Megremis und Megremis (2019)	28	65,1	88,9	23,8
Mittelwert		60,3	85,3	25,0
vorliegende Ergebnisse	49	62,8	88,6	25,8

4.2.1 Erster Teil der AOFAS-AHS – Fragen an den Patienten

4.2.1.1 Einschränkungen im Alltag und Schmerzen im Bereich der Füße – Frage eins und zwei der AOFAS-AHS

Schmerzen und der Wunsch nach deren Beseitigung sind für den Patienten oft das wichtigste Symptom und der vorrangige Grund für eine Vorstellung beim Arzt. Der Patient bewertet die orthopädische Erkrankung in der Regel an der Intensität der vorliegenden Schmerzen und den Behandlungserfolg an deren Reduktion. Bei Vorliegen einer Knicksenkfußstellung berichten Patienten oft über belastungsabhängige Schmerzen des medialen Rückfußes bei tendinitischer Reizung am Ansatz der Sehne des M. tibialis posterior, Schmerzen im Bereich des lateralen Rückfußes bei subfibularem Impingement oder globalem Schmerz des Rückfußes bei Reizerguss des Subtalargelenkes oder des Talonaviculargelenkes (Döderlein et al. 2002). Diese führen zunächst zu einer Einschränkung der Freizeitaktivitäten und der Mobilität. Die Patienten berichten, dass Sport nicht mehr in der üblichen Intensität und Dauer ausgeübt werden kann. Bei zunehmender oder lange bestehender Fehlstellung kommt es auch im Alltag zu Einschränkungen mit schmerzhaftem Gehen, damit reduzierter Gehstrecke oder Schmerzen nach Belastung.

Der von den Patienten beschriebene Schmerz ist in der Regel eng mit den Einschränkungen, die er erkrankungsbedingt in seinem Alltag erlebt, verbunden. Daher sollen die ersten zwei Fragen der AOFAS-AHS, nach Schmerz und Alltags Einschränkung, gemeinsam betrachtet werden. Die in der ersten Frage der AOFAS-AHS maximal vergebene Punktzahl ist die höchste Punktzahl pro Frage des gesamten Fragebogens. Der in Frage zwei

maximal vergebene Wert von zehn Punkten ist gemeinsam mit der Bewertung der Rückfußausrichtung in Frage neun die zweithöchste vergebene Punktzahl des Fragebogens. Durch die Möglichkeit mit zwei Fragen 50% der Gesamtpunktzahl zu beeinflussen wird der AOFAS-Score durch die Angaben des Patienten zu Schmerz und Einschränkungen am stärksten gewichtet. Zudem sind die Angaben zu Schmerz und Einschränkungen durch den Untersucher wenig beeinflusst und damit ein starker Marker für den Behandlungserfolg aus Sicht des Patienten.

In die vorliegende Untersuchung wurden ausschließlich Patienten mit symptomatischem Knickplattfuß eingeschlossen. Daher wird präoperativ von keinem Patienten eine präoperative Schmerzfreiheit angegeben. Diese Angaben korrelieren mit den Angaben der Patienten zu Frage zwei über Einschränkungen im Alltag oder bei Freizeitaktivitäten. Die fehlende Einschränkung wird mit der maximalen Punktzahl bewertet. Dies trifft zum Zeitpunkt vor der Operation für keinen Patienten des Kollektivs zu.

Gruppiert man die Antworten der ersten zwei Fragen der AOFAS-AHS, bestehen vor subtalarer Arthrorise bei drei von vier Patienten (75,5%) mäßige oder heftige Schmerzen und es finden sich dadurch bei allen Untersuchten Einschränkungen in der Freizeit oder dem Alltag. Gruppiert man die Antworten der Befragung drei Monate nach stattgehabter subtalarer Arthrorise findet man bei 48 Patienten (98%) keine oder nur leichte Schmerzen und keine Einschränkungen oder leichte Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten. Eine Patientin beklagte in der Befragung bei der Nachuntersuchung unilateral mäßige Schmerzen und Einschränkungen im Alltag. Dieser Fuß wird gesondert im Kapitel 4.3.2 beschrieben und diskutiert.

Aus den Ergebnissen des vorliegenden Kollektivs errechnet sich ein präoperativer Mittelwert von 19,6 Punkten, ein postoperativer Mittelwert von 34,1 Punkten und somit eine mittlere Zunahme von 14,5 Punktwerten, zu Frage eins der AOFAS-AHS als Ausdruck einer signifikanten Schmerzreduktion durch die subtalare Arthrorise. Im Ergebnis der zweiten Frage beträgt die mittlere Zunahme 3,9 Punktwerte von einem präoperativen Mittelwert von 5,1 auf einen postoperativen mittleren Punktwert von 9,0. Das entspricht einer relevanten Zunahme der möglichen Aktivität bei reduzierten Einschränkungen nach subtalarer Arthrorise.

In der überwiegenden Anzahl der bislang veröffentlichten Arbeiten werden der subtalaren Arthrorise eine schmerzreduzierende Wirkung und eine postoperativ gesteigerte Belastungsfähigkeit zugeschrieben (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021). Dabei werden die Schmerzen oder Einschränkungen mit unterschiedlichen Fragebögen erhoben.

Viladot et al. (2003) berichten in Bezug auf die erste Frage der AOFAS-AHS von einem präoperativen Punktwert von 16,3 einem postoperativen Punktwert von 31,6 und einer mittleren Zunahme der Punktwerte von 15,3 durch die subtalare Arthrorise. Angaben zu den Ergebnissen der zweiten Frage machen die Autoren nicht. Bernasconi et al. (2020) berichten ausschließlich von einem postoperativen Punktwert der ersten Frage der AOFAS-AHS von

36,7. Die von den Patienten der vorliegenden Untersuchung gemachten Angaben zu den präoperativen und postoperativen Schmerzen und die daraus errechnete durch subtalare Arthrorise erreichte Schmerzreduktion sind mit den Ergebnissen von Viladot et al. (2003) und Bernasconi et al. (2020) vergleichbar.

In den übrigen Arbeiten, die die AOFAS-AHS zur Evaluation der Behandlungsergebnisse verwenden, werden die Ergebnisse ohne detaillierte Angabe der Ergebnisse zur ersten oder zweiten Frage lediglich als summierter AOFAS-Score veröffentlicht (Viladot et al. 2003; Lee et al. 2006; Needleman 2006; Jay und Din 2013; Ozan et al. 2015; Cao et al. 2017; Ceccarini et al. 2018; Megremis und Megremis 2019). Cao et al. (2017) evaluieren die präoperativen und postoperativen Schmerzen neben der AOFAS-AHS mit einer visuellen Analogskala (VAS) von null, für fehlende Schmerzen, bis zehn, für stärkste Schmerzen. Die Autoren berichten von einem mittleren präoperativen Punktwert von 5,6 und einem postoperativen Punktwert von 1,2, was einer mittleren Schmerzreduktion von 4,4 Punktwerten der VAS entspricht (Cao et al. 2017). Krebs und Strobl (2013) berichten von einer Schmerzreduktion von 3,3 Punktwerten und Ozan et al. (2015) von 4,1 Punktwerten auf der VAS entsprechend den Ergebnissen von Cao et al. (2017).

Faldini et al. (2018) berichten in der Auswertung der Behandlungsergebnisse von 173 Patienten neben einer mit dem *Foot Function Index* erhobenen, nicht näher bezeichneten postoperativen Schmerzreduktion von einer „Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität“ ohne Einschränkungen vier bis fünf Monate nach subtalärer Arthrorise bei präoperativer Einschränkung der Leistungsfähigkeit. Martinelli et al. (2018) beschreiben zur „Wiederaufnahme sportlicher Aktivität“ vergleichbare Ergebnisse bei 49 Patienten mit „gesteigerter Fähigkeit zur Teilnahme an Freizeitaktivitäten“ nach subtalärer Arthrorise.

Bresnahan et al. (2013) haben das funktionelle Ergebnis von 46 mit subtalärer Arthrorise behandelten Füßen mit dem selten verwendeten *Maryland Foot Score* erhoben. Die Autoren berichten von einer „Reduktion der Fußschmerzen“ in 37% der Fälle und einer Steigerung der möglichen „Fußaktivität“ bei 14,4% der untersuchten Patienten ein Jahr nach subtalärer Arthrorise. In der Arbeit über die Behandlung von 60 Füßen berichten Brancheau et al. (2012) von einer Reduktion der „Hauptbeschwerden“ in 95,8% der Fälle und einer „gleichen oder gesteigert möglichen sportlichen Aktivität“ in 87,5% der untersuchten Fälle.

Die Literatur zeigt somit im Vergleich mit vorliegenden Ergebnissen eine analoge Reduktion präoperativer Schmerzen und Funktionseinschränkungen durch die subtalare Arthrorise.

4.2.1.2 Maximale Gehstrecke – Frage drei der AOFAS-AHS

In der dritten Frage der AOFAS-AHS werden die Patienten zu einer vorliegenden Einschränkung der Gehstrecke am Stück befragt. Die maximale Punktzahl von fünf wird bei einer Gehstrecke über 600 Metern vergeben und wird präoperativ von den Patienten für 44 Füße (90%) angegeben. Für vier Füße (8,2%) wird die Gehstrecke mit 400 bis 600 Meter,

entsprechend einem Punktwert von vier, und für einen Fuß (2%) die Gehstrecke zwischen 100 und 400 Metern, entsprechend einem Wert von zwei, angegeben. Die mittlere präoperative Punktzahl zur Gehstrecke beträgt präoperativ 4,9. Gruppieren man die Ergebnisse gemäß den Antwortoptionen, wird eine Einschränkung der Gehstrecke bei fünf Füßen (10%) des untersuchten Kollektivs vor Durchführung der subtalaren Arthrorise detektiert. Die drei Monate nach subtalarer Arthrorise von den Patienten bezifferte Gehstrecke liegt für alle Füße (100%) bei über 600 Metern. Das entspricht einer mittleren Zunahme der Punktwerte der Gehstrecke von 0,1 nach Durchführung der subtalaren Arthrorise.

Eine Einschränkung der Gehstrecke entsprechend den Antwortoptionen der Frage drei der AOFAS-AHS wird in untersuchtem Patientenkollektiv in 10% (fünf Füße) der Fälle angegeben. Dieses Ergebnis weicht von dem persönlichen Eindruck des Untersuchers ab. In der überwiegenden Zahl der Fälle wird als Grund für eine orthopädische Vorstellung, neben der den Eltern aufgefallenen Fehlstellung der Füße, eine schmerzbedingte Einschränkung der Gehstrecke angegeben. Auch in der Befragung der Patienten abseits des AOFAS-AHS geben die Patienten oft eine zugenommene Mobilität ohne Einschränkung der möglichen Gehstrecke oder der möglichen Zeit im Stand nach durchgeführter subtalarer Arthrorise als Begründung für die Zufriedenheit mit dem Eingriff an. Die Antwortoptionen der AOFAS-AHS lassen eine Detektion von Einschränkungen der Gehstrecke oberhalb von 600 Metern jedoch nicht zu, da alle Patienten mit einer möglichen Gehstrecke von mehr als 600 Metern mit der vollen Punktzahl bewertet werden und keine weitere Differenzierung der Gehstrecke möglich ist.

Es ist anzunehmen, dass die präoperative Gehstrecke im untersuchten Kollektiv verglichen mit biometrisch-demographisch übereinstimmenden Patienten in mehr als 10% der Fälle reduziert ist, die Gehstrecke bei diesen Patienten jedoch mehr als 600 Meter beträgt. Auf Grundlage der von den Patienten berichteten Funktionsverbesserungen und den in der Frage zwei der AOFAS-AHS gemachten Angaben ist anzunehmen, dass die mittlere Gehstrecke nach subtalarer Arthrorise im gesamten Kollektiv zugenommen hat, diese aber durch die mangelnde Differenzierung nicht durch die AOFAS-AHS detektiert wird. Die mit der AOFAS-AHS detektierte Zunahme der Gehstrecke nach subtalarer Arthrorise beträgt daher lediglich 0,1 Punktwerte.

In der Literatur wird bei Vorliegen einer Knickplattfußstellung von einer „Einschränkung der Aktivität“ und „Ermüdbarkeit“ der Füße durch Gangbelastung berichtet (Döderlein et al. 2002; Hefti 2015; Carr et al. 2016). Banwell et al. (2018) bezeichnen in der Metaanalyse von 27 Arbeiten zur Klassifikation und Definition des kindlichen Knickplattfußes mit insgesamt 15301 untersuchten Füßen die eingeschränkte Gehstrecke bei „Schmerz und reduzierter Funktion der unteren Extremität“ als ein Kriterium für das Vorliegen eines Knickplattfußes in Abgrenzung zur physiologischen Knicksenkfußstellung des wachsenden Kindes. Angaben über die Ausprägung der Gehstreckeneinschränkung bei

Vorliegen eines Knickplattfußes werden in der Literatur nicht gemacht. Morris et al. (2007) beschreiben die signifikant „reduzierte Lebensqualität“ mit Einschränkung der schmerzfreien Gehstrecke und reduzierter Teilhabe am „kindlichen Spiel“ bei Kindern mit Knickplattfußstellung im Vergleich zu Kindern ohne Fehlstellung.

Auch in Bezug zur subtalaren Arthrose finden sich in der vorhandenen Literatur keine detaillierten Ergebnisse der dritten Frage der AOFAS-AHS. Die Annahme einer nach subtalarer Arthrose zugenommenen Gehstrecke ohne Detektion durch die AOFAS-AHS wird unter anderem durch die Ergebnisse von Waizy et al. (2013) unterstützt. Die Autoren berichten von einer „signifikanten Zunahme der möglichen Gehstrecke in 33% der untersuchten Fälle“ nach „extraartikulärer Arthrose nach Grice und Green“. Angaben über die Gehstrecke in Metern werden von den Autoren nicht gemacht (Waizy et al. 2013). Bot et al. (2019) evaluieren die Behandlungsergebnisse der subtalaren Arthrose mit einem modifizierten, für den Klumpfuß validierten Fragebogen. In diesem Fragebogen werden die Eltern der behandelten Kinder in zwei Fragen unter anderem nach der „Fähigkeit längere Strecken zu gehen“ oder „Strecken zu rennen“ und möglichen „Limitierungen“ befragt. Diesen Ergebnissen entsprechend berichten die Patienten in der postoperativen Befragung in 57% Probleme zu Rennen und in 19% der Fälle Probleme „längere Strecken“ zu Gehen (Bot et al. 2019). In der präoperativen Befragung gaben 94% der Eltern „Probleme beim Gehen und Rennen von Strecken“ an. Ruiz-Picaso et al. (2019) berichten über die mit der *Oxford Ankle Foot Questionnaire for Children* nachgewiesene, signifikant zugenommene mögliche Teilhabe an „Schulsport und im Spiel“ nach subtalarer Arthrose.

4.2.1.3 Laufoberflächen – Frage vier der AOFAS-AHS

Beschwerden oder Einschränkungen beim Laufen über unterschiedlichen Untergrund sind Gegenstand der vierten Frage der AOFAS-AHS. Zum Zeitpunkt der präoperativen Evaluation wurden für 39 Füße mäßige Probleme (drei Punkte) und für acht Füße stärkste Probleme oder Unfähigkeit (null Punkte) auf unebenem Gelände, Treppen, Steigungen oder Gefälle zu Gehen angegeben. Ein Patient beantwortet die Frage vier der AOFAS-AHS für beide Füße mit der maximal bewerteten Antwort (fünf Punkte) ohne Einschränkungen auf jeglichem Untergrund. Der mittlere präoperativ erhobene Punktwert beträgt 2,6. Gruppieren man die Ergebnisse der Antworten mit Einschränkungen der Laufoberfläche, berichten die Patienten für 47 Füße (96%) von Beschwerden.

In der Befragung zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (T4) beschreiben die Patienten für 31 Füße (63%) keine Probleme und für 18 (37%) Füße mäßige Probleme beim Laufen auf unebenem Untergrund. Starke Probleme werden von keinem Patienten zu diesem Zeitpunkt angegeben. Die mittlere postoperative Punktzahl beträgt 4,3 und die mittlere Zunahme der Punktwerte im Vergleich der Antworten beider Messzeitpunkte beträgt 1,7 Punkte.

Die Veränderung der zu Frage vier gemachten Angaben zeigt eine postoperative Verbesserung der Funktion des Fußes in Bezug auf den Laufuntergrund bei noch wesentlichem Anteil von Patienten mit eingeschränkter Funktion des Fußes auf unebenem Untergrund oder schräger Ebene zu gehen. Die in Abschnitt 4.1.2.4 beschriebene Beweglichkeit des unteren Sprunggelenkes und dessen postoperative Veränderung sind eine mögliche Ursache von den in Frage vier bei 18 Füßen berichteten Problemen auf unebenem Untergrund zu Laufen.

Die Fähigkeit des Fußes, Torsionsabweichungen zwischen dem Vor- und dem Rückfuß im Stand auszugleichen, wird im wesentlichen durch die Funktion des vorderen Anteiles des unteren Sprunggelenkes, dem sog. Chopardgelenk, bestimmt. Die Pronation oder Supination des Vorfußes gegenüber dem Rückfuß wird beim Auftritt auf unebener Fläche zunächst im Chopardgelenk ausgeglichen. Unter zunehmender Belastung im Gang wird das Subtalargelenk durch Inversion gegenüber dem Chopartgelenk „verblockt“ und die durch die Auftrittfläche definierte „Verwringung“ des Fußes stabilisiert (Ledoux und Sangeorzan 2004; Jastifer und Gustafson 2014; Bresnahan und Juanto 2020). Bresnahan und Juanto (2020) beschreiben das im Gang belastete Subtalargelenk als „effiziente Rückfußmaschine um die vertikale Last in horizontale Last zu übertragen“. Bei vermehrter Eversion und reduzierter aktiver Inversionsfähigkeit des Subtalargelenkes bei einem Knickplattfuß kann die Torsion des Fußes bei Auftritt auf unebene Flächen im Gang nicht stabilisiert werden (Ledoux und Sangeorzan 2004; Bresnahan und Juanto 2020). Die reduzierte Belastbarkeit des Knickplattfußes mit Beschwerden im Gang auf unebenen Flächen resultiert aus der Instabilität des unteren Sprunggelenkes und zeigt sich in vorliegender Untersuchung durch die präoperativen Ergebnisse zu Frage vier der AOFAS-AHS.

Durch die mit der subtalaren Arthorise erreichte Aufrichtung des Talus in Bezug zum Calcaneus wird die Neutralstellung des Subtalargelenkes und damit die Fähigkeit zur aktiven Stabilisierung des Chopartgelenkes wiederhergestellt (Kirby 2011; Bresnahan und Juanto 2020). Die Ergebnisse der postoperativen Befragung mit der AOFAS-AHS spiegeln die im untersuchten Kollektiv im Mittel zugenommene Fähigkeit zur aktiven Stabilisierung des Rückfußes bei postoperativ reduzierten Beschwerden im Gang auf unebenem Untergrund wider.

Demgegenüber berechneten Wong et al. (2017) mit Finite-Elemente-Analyse die veränderte Kraftübertragung des Vorfußes auf den Rückfuß nach subtalarer Arthorise. Dabei weisen die Autoren auf die nicht physiologisch wiederhergestellte „Stabilität des Mittelfußes“ hin. (Wong et al. 2017). Dementsprechend beschreiben Zhang et al. (2016) und Jia et al. (2019) die Bewegungslimitierung des Talonaviculargelenkes als Teil des Chopartgelenkes nach Arthrodesese des Subtalargelenkes. Die passive, durch das Implantat hervorgerufene Stellungsveränderung des Subtalargelenkes ohne Wiederherstellung der physiologischen Stabilisierung des Chopartgelenkes im Gang und die passive Bewegungslimitierung des Chopartgelenkes sind eine mögliche Erklärung für persistierende,

mäßige Beschwerden im Gang auf unebenem Untergrund, wie sie postoperativ für 18 Füße (37%) von den Patienten der vorliegenden Untersuchung angegeben werden.

4.2.2 Zweiter Teil der AOFAS-AHS - Untersuchungsbefunde

4.2.2.1 Gangauffälligkeiten – Frage fünf der AOFAS-AHS

Der Untersucher kann den Gang des Patienten als unauffällig oder mit geringen Auffälligkeiten mit der maximalen Punktzahl von acht Punkten bewerten. Bei offensichtlichen Gangauffälligkeiten mit möglichem, aber „abnormen“ Gang werden vier Punkte abgezogen. Bei „deutlichen“ Gangauffälligkeiten mit „erschwertem und abnormem“ Gang wird dieser mit null Punkten bewertet (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014). In vorliegendem Kollektiv wurde der Gang, sowohl präoperativ als auch in der Untersuchung zur Verlaufskontrolle nach drei Monaten, bei allen untersuchten Füßen mit der vollen Punktzahl bewertet. In der Dokumentation fand sich unabhängig von der Erhebung der AOFAS-AHS bei keinem Patienten ein Hinweis auf Gangauffälligkeiten oder Verwendung von Hilfsmitteln. In die vorliegende Untersuchung wurden jedoch Patienten mit einer der Fehlstellung des Fußes zugrundeliegender Bewegungsstörung ausgeschlossen. Die bei untersuchtem Kollektiv vorliegende idiopathische Knickplattfußstellung lässt, abgesehen von akuten sekundären Tendinitiden oder akuten Überlastungszuständen des Rückfußes mit Gelenkerguss des oberen oder unteren Sprunggelenkes, in der Regel einen normalen Gang ohne wesentliche Auffälligkeiten zu.

Diese werden durch den in der präoperativen Untersuchung und den in der Verlaufskontrolle bei allen eingeschlossenen Füßen festgestellten normalen oder allenfalls gering von der Norm abweichenden Gang deutlich. Der drei Monate postoperativ bei untersuchtem Kollektiv festgestellte regelrechte Gang zeigt die abgeschlossene postoperative Rekonvaleszenz bei Alltagsaktivitäten mit normaler Ganggeschwindigkeit.

Es muss jedoch auf die subjektive Beurteilung des Ganges durch den Untersucher hingewiesen werden. Die Bewertung von Gangauffälligkeiten in genannten Kategorien ist insofern nicht objektiv, als dass keine objektivierbaren Messgrößen zum Gang in den Antwortoptionen der Frage fünf enthalten sind. Die Unterscheidung zwischen geringen, offensichtlichen oder deutlichen Gangauffälligkeiten ist stark von der Einschätzung des Untersuchers, dessen klinischer Erfahrung und damit persönlicher Kategorisierung der Gangstörung abhängig. Auch die Spezifizierungen in den Antwortoptionen der AOFAS-AHS mit „Gehen möglich“ oder „Gehen schwierig“ sind nicht eindeutig objektivierbar (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014). Die Grenzen zwischen geringer Gangauffälligkeit, schwierigem Gehen und noch möglichem Gehen sind damit fließend. Die weit gefasste Begrifflichkeit des Fragebogens der in deutscher Sprache validierten AOFAS-AHS begründet sich in ihrer zugrundeliegenden ebenfalls unscharf formulierten, ursprünglichen Ausgabe in englischer Sprache (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014). In vorliegender Untersuchung wurden statische Abweichungen der Beinachse oder im Gang auffallende

Instabilitäten der Gelenke der unteren Extremitäten, wie zum Beispiel eine Hyperextension der Kniegelenke bei Genu recurvatum oder eine dynamische Knie-Valgusfehlstellung, als geringe Gangauffälligkeit ohne Punktabzug gewertet. Offensichtliche Gangauffälligkeiten sind im Verständnis des Autors ein Schonhinken oder ein nicht korrigierbarer Spitzfußgang. Eine deutliche Gangstörung wäre im Rahmen einer Parese einer Extremität oder im Rahmen einer spastischen Bewegungsstörung zu erheben.

Abgesehen von den in der klinischen Untersuchung diagnostizierbaren Gangauffälligkeiten beschreiben Hagen et al. (2019) in der zweidimensionalen Ganganalyse nachweisbare „Verbesserungen“ des Ganges nach subtalarer Arthrorise. Die Ganganalyse von 27 Füßen vor und nach subtalarer Arthrorise zeige „eindeutige Veränderungen der Fersenbelastung im Stand und im Gang“ bei unverändert „möglicher Ganggeschwindigkeit“ und „selbst gewählter Schrittlänge“ (Hagen et al. 2019). Auch Kido et al. (2013) beschreiben eine bei Vorliegen eines Knickplattfußes im Gang veränderte „Rotation der Knochen der medialen Fußsäule zueinander“. Aus computertomographischen Aufnahmen des Fußskeletts mit simulierter Gangbelastung und „Rekonstruktion eines dreidimensionalen Modells“ mit Ableitung der „Knochen-zu-Knochen-Bewegung“ zeigte eine vermehrte Rotation des Vorfußes gegenüber dem Rückfuß im Gang (Kido et al. 2013). Pavone et al. (2013) beschreiben die in 80% der Fälle „normalisierten Fußabdrücke“ in einer Ganganalyse von insgesamt 410 Patienten mit subtalarer Arthrorise. Wong et al. (2020) beschreiben die mit der Finite-Elemente-Analyse berechnete „Gangabnormität“ beim Knickplattfuß des Erwachsenen. Die Autoren berichten über den „positiven Effekt“ der subtalaren Arthrorise auf die plantare Lastverteilung im Gang und schlagen patientenindividuelle Implantate zur Korrektur der Fehlstellung und des pathologisch veränderten Gangbildes vor (Wong et al. 2020).

Allen genannten Arbeiten ist die apparative Laufbandanalyse des Gangbildes gemein, welche in vorliegender Untersuchung nicht erfolgte. Bei der klinischen Untersuchung der vorliegenden Arbeit wurden keine höhergradigen Gangauffälligkeiten diagnostiziert. Publikationen über die klinische Untersuchung des Ganges entsprechend der Frage fünf der AOFAS-AHS vor und nach stattgehabter subtalarer Arthrorise sind nicht bekannt.

4.2.2.2 Die Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes - Frage 6 der AOFAS-AHS

Eine Bewegungseinschränkung des oberen Sprunggelenkes in der Sagittalebene würde zu dieser Frage eine Punktwertreduktion von vier, bei mäßiger Bewegungseinschränkung des oberen Sprunggelenkes bis 29° , und eine Punktwertreduktion von acht, bei massiver Einschränkung der Beweglichkeit bis zu 15° Bewegungseinschränkung, bedeuten. Die maximale Punktzahl von acht wird bei einem Bewegungsradius von mehr als 30° erreicht. Im vorliegenden Patientenkollektiv wäre eine Bewegungseinschränkung des oberen Sprunggelenkes durch eine Verkürzung der dorsalen Strukturen des Unterschenkels begründet (Döderlein et al. 2002; Coughlin et al. 2013). Die Strecke vom Ursprung des M. gastrocnemius mit dem Caput laterale am Epicondylus femoris lateralis bis zum Ansatz der

Achillessehne am Tuber calcaneum ist bei vermehrter Eversion des Calcaneus relativ zur Strecke bei physiologischer Rückfußachse verkürzt (Abbildung 35). Bei langjähriger Fehlstellung des Rückfußes sind die dorsalen Strukturen des Unterschenkels reaktiv verkürzt. Dies wird vereinfacht als Achillessehnenverkürzung bezeichnet (Döderlein et al. 2002; Coughlin et al. 2013).

Eine relevante Verkürzung der dorsalen Strukturen des Unterschenkels mit einer Einschränkung des Bewegungsradius unter 29° indiziert bei Patienten mit Knickplattfußstellung eine erweiterte operative Therapie, mit einer zu der subtalaren Arthrorise kombinierten Achillessehnenverlängerung (Fernández de Retana et al. 2012; Bernasconi et al. 2017). In der vorliegenden Untersuchung wurden Patienten mit zu der subtalaren Arthrorise kombinierten Eingriffen ausgeschlossen und Patienten mit singulär durchgeführter subtalarer Arthrorise betrachtet. Folgerichtig wurde bei keinem der untersuchten Füße zum präoperativen Zeitpunkt eine Bewegungseinschränkung des oberen Sprunggelenkes dokumentiert und in Frage sechs alle untersuchten Füße mit der maximalen Punktzahl bewertet.

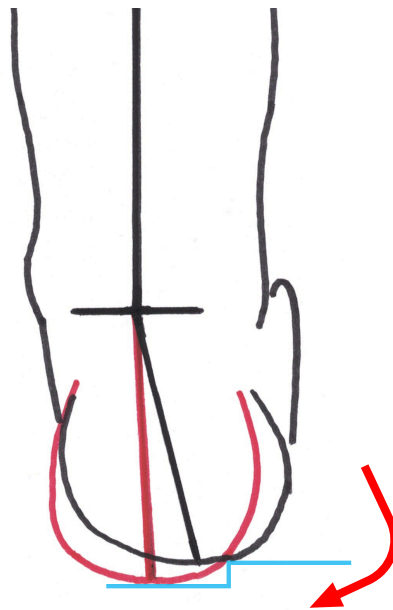


Abbildung 35: schematisch dargestellte Ansicht von dorsal auf den Rückfuß und den distalen Unterschenkel mit der Rückfußachse in Valgusposition (schwarz) und in orthograder Position (rot), Verkürzung (blau)

Auch in der Nachuntersuchung wurde für alle untersuchten Füße die maximale Punktzahl bei normaler Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes oder allenfalls leichten Einschränkungen der Beweglichkeit vergeben. Bei präoperativer und postoperativer Beweglichkeit der untersuchten Sprunggelenke von mindesten 30° Bewegungsradius erscheint ein Einfluss der subtalaren Arthrorise auf die Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes unwahrscheinlich.

Auch Bernasconi et al. (2020) berichten bei der Auswertung von 62 Füßen von uneingeschränkter Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.

Christensen et al. (1996) beschreiben die Unterschiede der Beweglichkeit des Talus im tibiotalaren Gelenk nach subtalarer Arthrorise als nicht signifikant. In einem Kadavermodell und dreidimensionaler Bewegungsanalyse durch Radiowellen wurde zwar eine signifikant veränderte Rotationsstellung des Talus in der Malleolengabel, nicht aber eine veränderte Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes nachgewiesen (Christensen et al. 1996). Auch Hutchinson et al. (2016) beschreiben in Kadaverversuchen eine vermehrte „Lastverteilung des oberen Sprunggelenkes“ und eine zunehmende „Aussenrotation des Talus“ nach Arthrodese des unteren Sprunggelenkes. Eine veränderte Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes wurde ebenfalls nicht nachgewiesen (Hutchinson et al. 2016). Der fehlende Einfluss der Arthrorise auf die Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes spiegelt sich auch in den Ergebnissen von Jia et al. (2019) und Zhang et al. (2016) wider. In beiden Arbeiten wurde der Einfluss selektiver Arthrodesen einzelner Gelenkteile des unteren Sprunggelenkes unter anderem auf die Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes am Kadaver untersucht. In keiner der Arbeiten wurde ein Einfluss der Beweglichkeit des unteren Sprunggelenkes auf die Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes nachgewiesen (Zhang et al. 2016; Jia et al. 2019).

Detaillierte Ergebnisse in Bezug zur sechsten Frage der AFOAS-AHS nach subtalarer Arthrorise wurden bisher nicht veröffentlicht.

4.2.2.3 Die Beweglichkeit des unteren Sprunggelenkes - Frage sieben der AOFAS-AHS

Die volle Punktzahl von sechs kann bei normalem Bewegungsrahmen oder Einschränkungen der Beweglichkeit bis zu 75% der Norm erreicht werden. In das untersuchte Patientenkollektiv wurden ausschließlich Patienten mit flexiblem Knickplattfuß mit freier Beweglichkeit des unteren Sprunggelenks ein- und Patienten mit kontrakter Fehlstellung des Rückfußes ausgeschlossen. Alle untersuchten Patienten werden präoperativ bei freier Beweglichkeit des unteren Sprunggelenkes mit der vollen Punktzahl bewertet. Eine Abwertung durch Minderbeweglichkeit des subtalaren Gelenkes in relevantem Ausmaß bedeutete den Ausschluss des Fußes aus vorliegender Untersuchung.

In der klinischen Untersuchung drei Monate nach subtalarer Arthrorise werden bei 33 Patienten mäßige Einschränkungen der Rückfußbeweglichkeit mit einem Bewegungsausmaß zwischen 25% und 74% der Norm dokumentiert. Die übrigen 16 untersuchten Füße zeigen eine normale oder gering reduzierte Beweglichkeit des Subtalargelenkes und erreichen damit die maximal mögliche Punktzahl. Die, im Vergleich zum präoperativen Befund, bei 33 Füßen zum Nachuntersuchungszeitpunkt dokumentierte reduzierte Beweglichkeit des Subtalargelenkes ist in der Wirkung der subtalaren Arthrorise begründet. Der Vergleich der präoperativen und postoperativen Untersuchungsbefunde dokumentiert die Wirkung der

durchgeführten subtalaren Arthrorise durch den Nachweis der anhaltenden Bewegungseinschränkung bei der Nachuntersuchung in 33 von 49 untersuchten Füßen.

Vogler (1987) schreibt allen für die subtalare Arthrorise verwendeten Implantaten eine Bewegungslimitierung des Subtalargelenkes zu. Die Vario-Schraube® entsprechend der Einteilung von Vogler (1987) als „*self locking*“ zu bezeichnendes Implantat, würde „die Adduktion und die Plantarflexion“ des Talus und damit die Beweglichkeit des unteren Sprunggelenkes limitieren (Bernasconi et al. 2017). Christensen et al. (1996) haben den Effekt der subtalaren Arthrorise an elf Kadavermodellen mit einem dreidimensionalen Radiowellen-*Tracking-System* untersucht und die durch die subtalare Arthrorise herbeigeführte Bewegungseinschränkung des Subtalargelenkes nachgewiesen. Auch Tarissi et al. (2014) beschreiben die Bewegungseinschränkung des Subtalargelenkes bei 8 Kadavermodellen nach unter arthroskopischer Kontrolle durchgeführter subtalarer Arthrorise.

Die zum Nachuntersuchungszeitpunkt bei 16 untersuchten Füßen in Frage sieben erreichte Maximalpunktzahl bei entsprechend der AOFAS-AHS normaler oder leicht eingeschränkter Beweglichkeit trotz stattgehabter Arthrorise begründet sich in der Graduierung der Antwortoptionen zu Frage acht. Die durch die subtalare Arthrorise verursachte Bewegungslimitierung des Subtalargelenkes wird in der Graduierung der Antwortoptionen in 16 Fällen nicht detektiert, da die hier vorliegende Bewegungslimitierung die Grenze zwischen den gegebenen Antwortoptionen von 75% nicht unterschreitet. Bei zu gleichem Untersuchungszeitpunkt in Frage neun an 48 Füßen nachgewiesener klinisch aufgehobener Fehlstellung, und damit stattgehabter Reposition des Rückfußes, ist von dem Vorliegen einer Bewegungseinschränkung des Subtalargelenkes durch subtalare Arthrorise auch bei den 16 mit maximaler Punktzahl bewerteten Füßen auszugehen.

Green et al. (2006) beschreiben die „Restriktion exzessiver Pronation des Rückfußes ohne wesentliche Restriktion der Supination oder vollständiger Blockierung des Gelenkes“ als „großen Vorteil der Arthrorise“. Eine starke Bewegungseinschränkung bei zu groß gewähltem Implantat oder eine verursachte Überkorrektur würden „das natürliche Wachstum des Fußes stören“ und „Funktionsstörungen in benachbarten Gelenken“ auslösen (Green et al. 2006). Kirby (2011) beschreibt den durch die implantatassoziierte „Kompression im Sinus tarsi“ ausgelösten Effekt einer „Repositionierung“ des unteren Sprunggelenkes. In Abhängigkeit des zugrunde gelegten „physiologischen Bewegungsausmaßes“ wird die Beweglichkeit des Subtalargelenkes nach Arthrorise von Green et al. (2006) als physiologisch bezeichnet.

4.2.2.4 Die Stabilität des oberen Sprunggelenkes - Frage acht der AOFAS-AHS

Eine vorliegende Instabilität würde die maximal erreichbaren Punktwerte um acht reduzieren. Die Auswertung der AOFAS-AHS für 49 Füße zeigt eine klinisch diagnostizierte Instabilität bei 14 (28,57%) oberen Sprunggelenken in der prä- und postoperativen Untersuchung ohne veränderte Verteilung im Patientenkollektiv. Die Ätiologie dieser

Instabilität wurde nicht untersucht. Sie kann sowohl auf dem Boden einer erworbenen posttraumatischen Instabilität als auch im Rahmen einer allgemeinen Hypermobilität der Gelenke entstanden sein. Die gehäuft im Rahmen von neuromuskulären Erkrankungen auftretende generelle Hypermobilität der Gelenke als Ursache der gefundenen Instabilität ist aber im Hinblick auf die Ausschlusskriterien nicht wahrscheinlich, da im Rahmen von Grunderkrankungen sekundär auftretende Knickplattfüße aus vorliegender Untersuchung ausgeschlossen wurden.

Nach Auffassung verschiedener Autoren wird die pathologische Knickplattfußstellung durch eine allgemeine Bandlaxität oder eine ligamentäre Insuffizienz begünstigt (Hefti und Brunner 1999; Döderlein et al. 2002; El et al. 2006; Evans und Rome 2011). Die Angaben über die Häufigkeit der im Kindes- und Jugendalter vorliegenden chronischen Instabilität des oberen Sprunggelenkes sind in Abhängigkeit vom untersuchten Kollektiv unterschiedlich. Dabei wird die Instabilität des oberen Sprunggelenkes auf dem Boden einer allgemeinen Bandlaxität und Überstreckbarkeit der Kapselbandstrukturen des Körpers von der erworbenen, posttraumatischen Instabilität oft nicht abgegrenzt. In der Metaanalyse von neun Arbeiten über die Sprunggelenkinstabilität im Kindes- und Jugendalter von Mandarakas et al. (2014) wird die Häufigkeit der chronischen Sprunggelenkinstabilität abhängig vom untersuchten Kollektiv von 18 bis 47% angegeben. Die eingeschlossenen Arbeiten untersuchen die posttraumatische Instabilität im Hinblick auf die durchgeführten Sportarten oder vorangegangene Belastungen der Sprunggelenke, aber nicht auf das Vorliegen einer generellen Hyperlaxität (Mandarakas et al. 2014). Remvig et al. (2007) werten in einer Metaanalyse die Ergebnisse von acht Arbeiten über die mit dem *Beighton Mobility Score* untersuchte Prävalenz der Hypermobilität der Gelenke in verschiedenen Populationen und Altersgruppen aus (Beighton et al. 1973). Ein Teil der eingeschlossenen Arbeiten geben die Prävalenz der Hyperlaxität im Kindes- und Jugendalter in Abhängigkeit von Geschlecht und Ethnie mit 2% bis 32% an (Remvig et al. 2007). El et al. (2006) berichten in ihrer Untersuchung von 579 Schulkindern eine generelle Hypermobilität der Gelenke in 25% der Fälle. Bei 95 Kindern (17,2%) wurde eine mäßige bis ausgeprägte Knickplattfußstellung diagnostiziert. In der Gruppe der Kinder mit vermehrter Gelenklaxität wurde in 27,6% und bei den übrigen Kindern in 13,4% ein Knickplattfuß diagnostiziert. Bei Kindern mit Knickplattfußstellung wurde in 37,9% eine generell vermehrte Gelenkbeweglichkeit mit dem *Beighton Mobility Score* festgestellt, was das Vorliegen einer Hyperlaxität der Gelenke als begünstigenden Faktor für einen Knickplattfuß wahrscheinlich macht (El et al. 2006).

Unabhängig von der Ätiologie der Instabilität kann durch die in dieser Untersuchung in 28,6% der untersuchten Sprunggelenke gefundene Instabilität kein Zusammenhang einer Instabilität des oberen Sprunggelenkes mit der Knickplattfußstellung abgeleitet werden. Die Befunde und deren Anteil am gesamten Kollektiv sind jedoch, unter Berücksichtigung einer Selektion des Patientenkollektivs durch die Einschluss- und Ausschlusskriterien, mit den Daten anderer Autoren vergleichbar (Beighton et al. 1973, Mandarakas et al. 2014).

Vergleicht man die prä- und postoperative Rückfußstabilität der Patienten, zeigt sich keine Veränderung durch die durchgeführte subtalare Arthrorise. Alle Patienten mit präoperativer Instabilität des oberen Sprunggelenkes zeigten diese auch nach durchgeführter Operation. Auch bei Patienten mit präoperativer Stabilität wurde in der Frage neun keine Veränderung der Sprunggelenkstabilität festgestellt.

Die direkte Wirkung der subtalaren Arthrorise besteht ausschließlich am Subtalargelenk mit der Reposition des Calcaneus aus einer vermehrten Eversionsstellung in die orthograde Rückfußstellung. Die Reposition des Calcaneus führt zur Anspannung der lateralen Kapselbandstrukturen des Rückfußes (Kirby 2011). Dies wird unter anderem durch die nach Arthrorise vereinzelt postoperativ auftretenden, reaktiven Spasmen der Mm. peronei als bekannte postoperative Komplikation deutlich (Green et al. 2006, Bernasconi et al. 2017). Die schematische Darstellung des Rückfußes in Abbildung 35 veranschaulicht die durch die Reposition des Calcaneus hervorgerufene „Verlängerung des Rückfußes“ mit konsekutiver Anspannung der lateralen Kapselbandstrukturen (Schmidt und Parsch 2003; Zaret und Myerson 2003; Kirby 2011). Die vermehrte Anspannung der lateralen Bandstrukturen am oberen Sprunggelenk mit „verbesselter Propriozeption“ durch passive Korrektur des Rückfußvalgus mit vermehrter „Stabilität im Stand“ kann in der Fußdruckmessung nachvollzogen werden (Tahmasebi et al. 2015).

Mit Frage acht der AOFAS-AHS wird die „Sprunggelenk-Rückfußstabilität“ evaluiert, ohne zwischen den Gelenken des Rückfußes zu differenzieren. Eine ausdrückliche Spezifizierung zwischen der Stabilität des oberen Sprunggelenkes und des unteren Sprunggelenkes bzw. des Subtalargelenkes findet sich im Fragentext nicht. Die weiteren Stichworte des Fragebogens zur Frage acht sind „vordere Schublade, Varus-/Valgusstress“ (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014). Die „vordere Schublade“ beschreibt einen Untersuchungsbefund bei Instabilität der ventralen Kapselbandstrukturen des oberen Sprunggelenkes und bezieht sich daher streng auf die Stabilität dieses Gelenkes. Die Begriffe „Varus-/Valgusstress“ können sowohl auf das obere als auch das untere Sprunggelenk angewendet werden, jedoch muss hier genau zwischen der Aufklappbarkeit, die in der Regel bei Stabilitätstest mit Varus- oder Valgusstress gemeint ist, und der physiologischen Beweglichkeit von Gelenken unterschieden werden (Kitaoka et al. 1994; Kostuj et al. 2014).

Eine Instabilität des oberen Sprunggelenkes würde sich unter anderem durch die vermehrte mediale oder laterale Aufklappbarkeit des oberen Sprunggelenkes oder die vermehrt mögliche Translationsbewegung des Talus unter der Malleolengabel in der sagittalen Ebene zeigen. Eine posttraumatisch vermehrte Aufklappbarkeit des Subtalargelenkes als ein Teil des unteren Sprunggelenkes, bei Verletzung sowohl der ventralen als auch der lateralen Kapselbandstrukturen der Sprunggelenke, würde in diesem Fall einem instabilen Befund des unteren Sprunggelenkes gemäß der hier vorliegenden Fragestellung entsprechen, und wäre auch in der Beantwortung der Frage 8 der AOFAS-AHS zu detektieren. Die Instabilität im Sinne einer vermehrten Aufklappbarkeit des

Subtalargelenkes wäre jedoch bei erhöhter Gefahr für die Dislokation des Implantates eine Kontraindikation für die subtalare Arthrorise mit einem nicht im Sinus tarsi fixierten Implantat (Bernasconi et al. 2017). Die in der vorliegenden Untersuchung an 14 Sprunggelenken diagnostizierte Instabilität bezieht sich daher ausschließlich auf das obere Sprunggelenk.

Eine vermehrte laterale Aufklappbarkeit des unteren Sprunggelenkes ist zudem nicht typisch für eine Knickplattfußstellung (Döderlein et al. 2002). Eine langdauernd bestehende Fehlstellung mit vermehrter Eversion des Calcaneus ist zunächst eine vermehrte Beweglichkeit des Subtalargelenkes in Richtung der Eversionsstellung, ohne eine der Definition entsprechenden Instabilität. Dies führt, im Gegensatz zu einer lateralen Instabilität, zu sekundär verkürzten lateralen Kapselbandstrukturen mit zunehmender Bewegungseinschränkung der Inversionsbewegung des Calcaneus und vermehrter Spannung der lateralen Kapselbandstrukturen bei Varusstress (Döderlein et al. 2002). Diese Bewegungseinschränkung wird in Frage sieben der AOFAS-AHS untersucht und wurde in die Beantwortung der Frage acht nicht mit einbezogen.

Untersuchungsergebnisse über den Einfluss der Arthrorise auf die Stabilität des oberen Sprunggelenkes oder detaillierte Untersuchungsergebnisse der Frage neun der AOFAS-Scale in Bezug zur subtalaren Arthrorise sind bisher nicht veröffentlicht.

4.2.2.5 Die Ausrichtung des Rückfußes - Frage neun der AOFAS-AHS

Mit Frage neun der AOFAS-AHS wird die Ausrichtung oder das Alignment des Fußes evaluiert. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt zehn für einen plantigrad ausgerichteten Fuß ohne Fehlstellung. Allen in die vorliegende Untersuchung eingeschlossenen Füßen ist die klinisch und radiologisch sichtbare Fehlstellung des Fußes entsprechend den Einschlusskriterien gemein. Es wurde daher präoperativ kein Fuß mit der maximal erreichbaren Punktzahl bewertet. Als mäßig ausgerichtet bei leichter bis mittelschwerer Fehlstellung wurden 28 und als schlecht ausgerichtet mit schwerer Fehlstellung 21 Füße präoperativ mit dem jeweiligen Punktabzug bewertet. Der für diese Frage errechnete präoperative Mittelwert beträgt 2,8 Punkte.

Drei Monate nach subtalarer Arthrorise wurden die Füße erneut im Rahmen der AOFAS-AHS in Bezug auf die Ausrichtung des Rückfußes bewertet. Zu diesem Zeitpunkt wurden 48 Füße als plantigrad ohne Fehlstellung und ein Fuß als leicht fehlgestellt bewertet. Dies bestätigt die klinisch wahrnehmbar veränderte Stellung des Fußes durch die subtalare Arthrorise in 98% der untersuchten Füße. Ein Fuß wurde in der Verlaufskontrolle als leicht bis mittelschwer fehlgestellt diagnostiziert und entsprechend der AOFAS-AHS eingeteilt. Dieses Operationsergebnis wurde als Komplikation gewertet und wird gesondert im Abschnitt 4.3.1 mit den weiteren dokumentierten Komplikationen diskutiert. Der postoperative Mittelwert für die Ausrichtung des Rückfußes beträgt 9,8 Punkte bei einer mittleren Zunahme im Vergleich zum präoperativen Mittelwert von sieben Punktwerten.

Bernasconi et al (2020) berichten von einem postoperativen Mittelwert für Frage neun der AOFAS-AHS von 8,3 Punkten. Viladot et al. (2003) beschreiben eine Zunahme der Punktwerte durch die subtalare Arthrorise in Bezug auf die Ausrichtung des Rückfußes von 2,6 Punkte auf 8,4 Punktwerte. Die vorliegenden Ergebnisse der präoperativen Fehlstellung und die durch die subtalare Arthrorise erreichte Korrektur des Rückfußes sind damit mit in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen vergleichbar. Der Unterschied zwischen vorliegenden postoperativen Untersuchungsergebnissen mit gering höheren Punktwerten verglichen mit Ergebnissen der Literatur, ist vor dem Hintergrund der untersuchten Patientenzahlen nicht signifikant.

Die präoperative Fehlstellung des Fußes kann entsprechend den Untersuchungsergebnissen für Frage neun der AOFAS-AHS durch die subtalare Arthrorise mit der Vario-Schraube[®] korrigiert werden. Die postoperativ korrigierte Stellung der behandelten Füße entspricht den für andere Implantate veröffentlichten Behandlungsergebnissen.

4.3 Arbeitshypothese V

Es wurde angenommen, dass die Häufigkeit von Komplikationen in Bezug zur absoluten Fallzahl bei der Durchführung der subtalaren Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] mit der Komplikationsrate anderer Implantate vergleichbar ist und diese nicht übersteigt. Das Verhältnis von den in der vorliegenden Untersuchung an fünf Füßen aufgetretenen Komplikationen in Bezug auf die Gesamtzahl der behandelten Füße ist im Vergleich zu veröffentlichten Komplikationsraten anderer Implantate geringer oder auf ähnlichem Niveau. Damit ist die Arbeitshypothese V bestätigt.

Bernasconi et al. (2017) teilen die zur subtalaren Arthrorise assoziierten Komplikationen in vier Kategorien ein. Dabei werden die Folgen einer falschen Indikation, die Folgen „technischer Fehler bei der Durchführung“, Materialfehler des Implantates und dauerhaft nach Arthrorise auftretende Schmerzen unterschieden (Bernasconi et al. 2017).

Eine „unangemessene“ Indikation zur subtalaren Arthrorise ist das Vorliegen einer Instabilität des Subtalargelenkes, das Vorliegen von entzündlichen Gelenkerkrankungen oder eine rigide Fehlstellung des Rückfußes (Bernasconi et al. 2017). Diese Kontraindikationen werden durch die Ausschlusskriterien vorliegender Untersuchung nicht inkludiert, da die Patientenakten explizit nach dem Vorliegen typischer Befunde für diese Kontraindikationen beurteilt wurden. Eine fehlerhafte Indikation zur subtalaren Arthrorise ist damit im untersuchten Kollektiv ausgeschlossen.

Die Folgen einer technisch fehlerhaft durchgeführten Arthrorise oder Materialfehler des Implantates wurden in der vorliegenden Untersuchung durch die Auswertung der Patientenakten zu Einträgen von Komplikationen oder Hindernissen am Operationstag untersucht. Hier fanden sich in den Operationsberichten keine Hinweise auf eine erschwerte

Reposition der Fehlstellung, erschwerte Implantation oder intraoperative Defekte der Vario-Schraube®. Auch Einträge über allgemeine chirurgische Komplikationen, wie Hautverletzungen, iatrogene Frakturen des Calcaneus oder Talus bei forcierter Implantation wurden nicht gefunden. Alle Operationsberichte beschrieben eine komplikationslose Reposition der Fehlstellung mit komplikationslosem Einbringen des Implantates. Die in allen Operationsberichten beschriebene abschließend durchgeführte radiologische und klinische Stellungskontrolle wurde in allen Fällen als regelrecht und die Fußform als physiologisch beschrieben. In der Literatur finden sich zahlreiche Beschreibungen möglicher intraoperative Komplikationen bei der Durchführung einer subtalaren Arthrorise, eine Auswertung der Häufigkeit intraoperativ aufgetretener Komplikationen ist bisher jedoch nicht erfolgt (Lanham 1979; van Ooij et al. 2012; Shah et al. 2015; Bernasconi et al. 2017).

Die weitere Untersuchung auf technische Fehler bei der Implantation der Vario-Schraube®, implantat-assoziierten Komplikationen oder Materialfehlern sowie postoperativ vermehrte Schmerzen erfolgte durch die Auswertung der postoperativen Einträge in den Patientenakten. „Technische“ Fehler der subtalaren Arthrorise oder mögliche Fehler im Design des Implantates zeigen sich durch dessen Dislokation oder die fehlerhafte Korrektur der zuvor bestehenden Fehlstellung (Bernasconi et al. 2017). Eine Überkorrektur wäre durch eine postoperative Varusfehlstellung und eine Unterkorrektur durch eine postoperative Valgusfehlstellung des Rückfußes definiert (Abbara-Czardybon et al. 2014). Typische Schmerzen nach subtalarer Arthrorise finden sich im Bereich des Sinus tarsi und als peroneale Spasmen (Abbara-Czardybon et al. 2014; Bernasconi et al. 2017).

Im Nachbeobachtungszeitraum ist es bei fünf Patienten an sechs behandelten Füßen zu einem von der üblichen Nachbehandlung abweichenden Verlauf gekommen. Diese werden in den folgenden Abschnitten detaillierter analysiert.

4.3.1 Fehleranalyse - Morphologisch und radiologisch unzureichende Korrektur

Bei einem zehnjährigen, männlichen Patienten zeigte sich vier Wochen postoperativ eine mäßige, residuale Knickplattfußstellung des linken Fußes und ein, im Vergleich mit dem am präoperativen Röntgenbild, vergrößerter TC-Winkel.

Entsprechend der Dokumentation erfolgte die Erstvorstellung auf Überweisung des Kinderarztes bei bilateralem Fußschmerz nach konservativer Therapie mit Einlagen und Physiotherapie ohne wesentliche Beschwerdereduktion. Bei dieser Vorstellung wurden ein AOFAS-Score von 62 für den linken und von 67 für den rechten Fuß erhoben. Entsprechend dieser Angaben klagte der Patient über gelegentliche, symmetrische Schmerzen beider Füße mit mäßigen Einschränkungen im Alltag und der Freizeit sowie mäßigen Problemen, auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigungen zu gehen. Die schmerzfreie Gehstrecke wurde mit über 600 Metern angegeben.

In der klinischen Untersuchung fanden sich keine Gangauffälligkeiten oder Bewegungseinschränkungen des Rückfußes; die Sprunggelenke wurden stabil bewertet. Der

linke Fuß war, entsprechend der Bewertung mit null Punkten in Frage neun der AOFAS-AHS, stark fehlgestellt mit schlechter Ausrichtung und nicht plantigradem Auftritt. Der rechte Fuß wurde mit fünf Punkten als mittelschwer fehlgestellt und mäßig ausgerichtet bewertet. An den präoperativen Röntgenbildern des linken Fußes in zwei Ebenen (Abbildung 36) wurden ein Calcaneusneigungswinkel von $8,6^\circ$, ein Talusbasisreferenzwinkel von $37,6^\circ$ und Talocalcanearwinkel von $30,8^\circ$ erhoben.

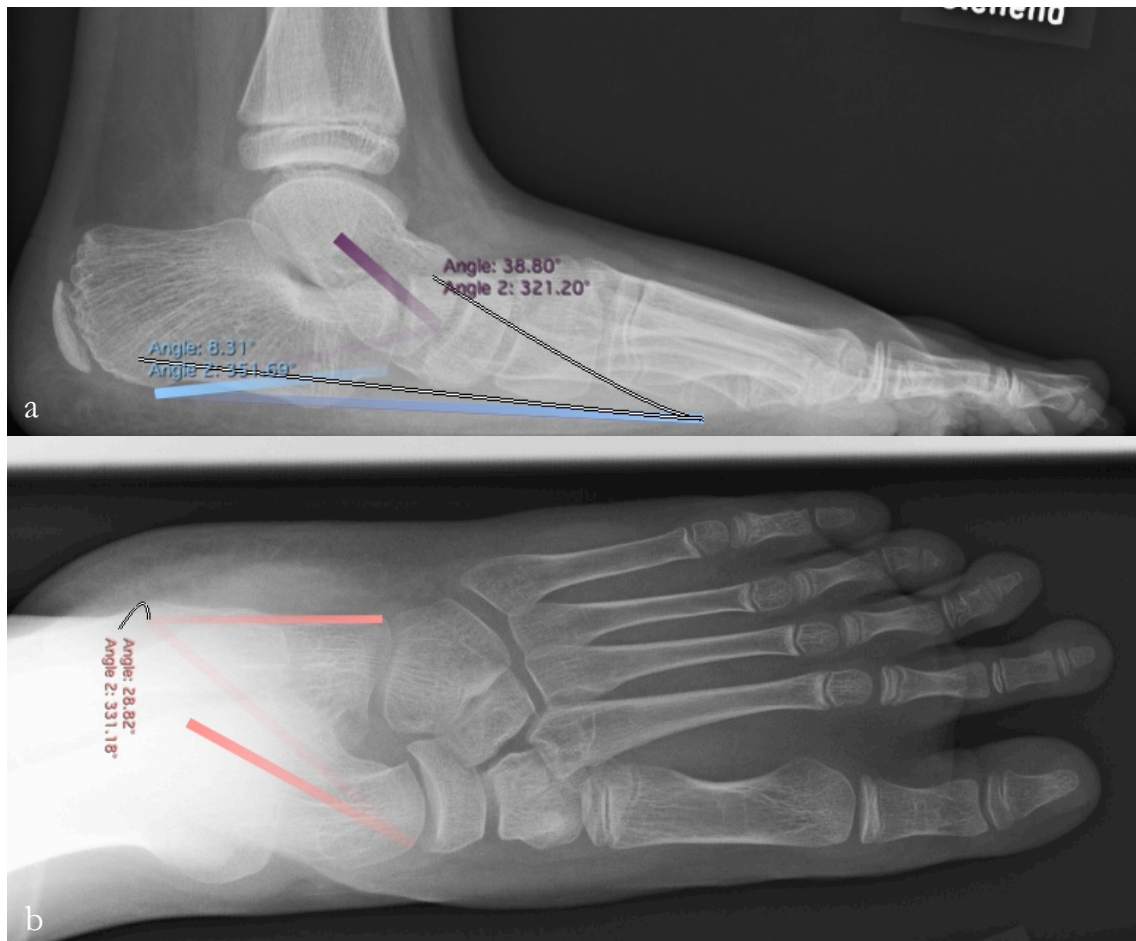


Abbildung 36: Röntgenbild in 2 Ebenen, präoperativer Befund: lateraler Strahlengang (a) mit Messwert präopCP von $8,3^\circ$ (präopCP $8,6^\circ$) und Messwert präopTD von $38,8^\circ$ (präopTD $37,6^\circ$) und dorsoplantarer Strahlengang (b) mit Messwert präopTC von $28,8^\circ$ (präopTC $30,8^\circ$). Die Angaben in Klammern nach den Messwerten entsprechen den für diesen Patienten errechneten Mittelwerten aus den redundanten Messdurchgängen beider Untersucher.

Bei bilateralem, symptomatischem Knickplattfuß erfolgte die subtalare Arthrorise ohne dokumentierte intraoperative Komplikationen oder in der Patientenakte vermerkte Auffälligkeiten im postoperativen Verlauf bis zur Kontrolle vier Wochen nach Operation.

An Röntgenbildern der postoperativen Kontrolle 32 Tage nach subtalarer Arthrorise (Abbildung 38) wurden ein Calcaneusneigungswinkel von $12,2^\circ$, ein

Talusbasisreferenzwinkel von $23,0^\circ$ und ein Talocalcanearewinkel von $36,2^\circ$ erhoben. Der Vergleich der prä- und postoperativen Winkelgrade zeigt eine Zunahme des Calcaneusneigungswinkels von $3,5^\circ$, eine Abnahme des Talusbasisreferenzwinkels von $14,6^\circ$ und eine Zunahme des Talocalcanearewinkels von $5,3^\circ$.

Die Zunahme des Talocalcanearewinkels erklärt sich durch eine verzerrte Darstellung der Rückfußfehlstellung auf dem Röntgenbild. In der Auswertung des präoperativen Röntgenbildes ist der Talocalcanearewinkel entsprechend den festgelegten Winkeldefinitionen regelrecht bestimmt. Eine in diesem Fall bestehende Fehlstellung der Beinachsen verfälscht jedoch die Wiedergabe der für die Bestimmung der Talus- und Calcaneuslängsachse zugrundeliegenden Landmarken auf dem Röntgenbild (Ippolito et al. 2004; Lee et al. 2010; Radler et al. 2010). Entsprechend dem in der Patientenakte dokumentierten Untersuchungsbefund bestand an beiden Extremitäten ein ausgeprägtes Genu valgum und ein in der Frontalebene varisch ausgerichtetes oberes Sprunggelenk. In diesem Fall wird der Rückfuß bei korrekter Positionierung des Beines zur Anfertigung des Röntgenbildes im dorsoplantaren Strahlengang nicht korrekt abgebildet. Die ausgeprägte Innenrotation des Talus in Bezug zum Calcaneus und die ausgeprägte Eversion des Calcaneus werden durch die zur Anfertigung der Röntgenaufnahme eingenommene Position mit artifizieller, devalgisierter Ausrichtung des Unterschenkels, auf den Röntgenbildern maskiert. Abbildung 37 veranschaulicht den Effekt einer verzerrten Darstellung der Rückfußfehlstellung auf dem Röntgenbild bei unterschiedlicher Ausrichtung des Unterschenkels. Korrespondierend dazu kann in Abbildung 36b die varische Einstellung des Sprunggelenkes mit der die laterale Begrenzung des Calcaneus überragenden Abbildung des lateralen Sprunggelenkes nachvollzogen werden. In Abbildung 37b werden die Eversion und Rotation des Talus auf dem Röntgenbild korrekt wiedergegeben. Talus und Calcaneus bilden sich mit verringerter Überlappung auf dem Röntgenbild ab. Wird im Rahmen der Einstelltechnik der Unterschenkel entgegen seiner durch das Genu valgum vorgegebenen Ausrichtung devalgisiert, nimmt, wie in Abbildung 37a dargestellt, die Überlappung von Talus und Calcaneus auf dem Röntgenbild zu. Im vorliegenden Fall ist das Ausmaß der Rückfußfehlstellung bei im Rahmen der Röntgeneinstelltechnik „korrigierter“ Beinachsenfehlstellung auf dem präoperativen Röntgenbild verzerrt wiedergegeben. Der präoperativ gemessene Talocalcanearewinkel ist unter Berücksichtigung dieses Effektes größer anzunehmen und gibt das tatsächliche Ausmaß der Fehlstellung mit einem innerhalb der physiologischen Grenzen liegenden Messwert von $30,8^\circ$ nicht korrekt wieder. Das Ausmaß der präoperativen Fehlstellung kann an den im Röntgenbild im lateralen Strahlengang erhobenen Winkeln nachvollzogen werden. Die Messwerte von $8,6^\circ$ für den Calcaneusneigungswinkel und $37,6^\circ$ für den Talusbasisreferenzwinkel weichen stark von den als physiologisch beschriebenen Grenzen ab, wodurch die in diesem Fall stark ausgeprägte Fehlstellung deutlich wird.

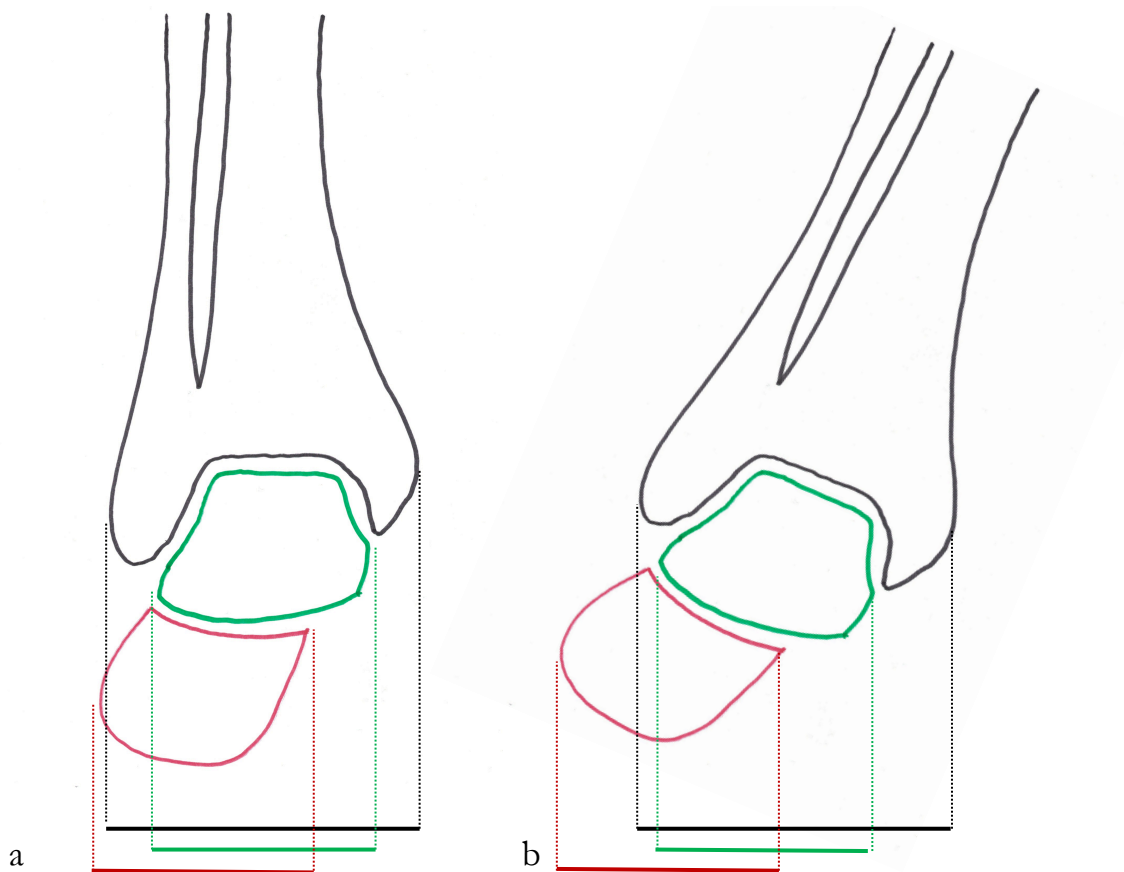


Abbildung 37: schematische Darstellung des Einflusses der Unterschenkelpositionierung auf die Abbildung des Rückfußvalgus auf dem Röntgenbild im dorsoplantaren Strahlengang, (a) orthograde bzw. ent-valgisierte Ausrichtung, (b) valgische Ausrichtung des Unterschenkels bei identischer Stellung des Subtalargelenkes

Der Verzerrungseffekt nimmt mit dem Grad der Ausprägung der Fehlstellung des Rückfußes und der Beinachsen zu (Ippolito et al. 2004). Die Autoren beschreiben in der Arbeit zur „Validierung des Talocalcanearen Winkels zur Erfassung der Fehlstellung“ bei Vorliegen einer ausgeprägten Fehlstellung der Rückfußachse eine Abweichung der Messwerte im Vergleich von zweidimensionalem Röntgenbild und dreidimensional rekonstruierter Computertomographie in 75% der Fälle. Bei „normalen Füßen“ weichen die Messergebnisse in 2% der Fälle voneinander ab. Dementsprechend ist der Effekt im postoperativen Röntgenbild nach subtalarer Arthrorise mit reduziertem Rückfußvalgus weniger ausgeprägt und der Talocalcaneare Winkel wird mit dem Messwert von $36,2^\circ$ korrekt wiedergegeben. Die, im Vergleich der am prä- zum postoperativen Röntgenbild gemessenen Grade für den Talocalcaneare Winkel errechneten Zunahme ist bei Verzerrung des am präoperativen Röntgenbild erhobenen Messwertes nicht Ausdruck der tatsächlich vollzogenen Stellungsveränderung.

In der Patientenakte ist zum Zeitpunkt der Nachkontrolle klinisch ein residueller Knickplattfuß mit „diskret vermehrtem Rückfußvalgus“ und „deutlich reduziertem Längsgewölbe“ beschrieben. Der Patient und die Eltern seien mit dem Operationsergebnis

zufrieden. Der Patient habe „gelegentlich leichte Schmerzen“ an den Füßen und könne den Fuß im Alltag ohne Einschränkung belasten.

Die klinische Untersuchung mit Erhebung des AOFAS-*Score* drei Monate (90 Tage) nach Arthrorise bestätigte den morphologischen Stellungbefund des linken Fußes durch eine Bewertung mit fünf Punkten zu Frage neun, entsprechend einem mäßig ausgerichteteten Fuß mit leichter bis mittelschwerer Fehlstellung. Entsprechend der AOFAS-AHS berichtete der Patient über leichte Schmerzen ohne Einschränkung im Alltag und ungeminderter Gehstrecke. Er habe keine Probleme beim Laufen auf jeglichen Oberflächen. In der klinischen Untersuchung zeigten sich keine Gangauffälligkeiten oder Bewegungseinschränkungen des linken oberen Sprunggelenkes oder des Subtalargelenkes. Das Sprunggelenk wurde weiterhin als stabil bewertet. Der AOFAS-*Score* für den linken Fuß betrug 85 Punkte.

In der Zusammenschau der postoperativ erhobenen, klinischen und radiologischen Befunde ergibt sich das Bild einer residualen Fehlstellung des linken Fußes. Insbesondere der am postoperativen Röntgenbild erhobene, im Vergleich zu Gesunden reduzierte Calcaneusneigungswinkel von $12,2^\circ$ und der grenzwertig physiologische Talocalcanearwinkel von $36,2^\circ$ stützen den klinischen Befund eines „deutlich abgesunkenen Längsgewölbes“ und eines „diskret vermehrtem Rückfußvalgus“. Im Vergleich des präoperativen und postoperativen Befundes ist die, trotz postoperativ bestehender residualer Fehlstellung, durch die subtalare Arthrorise erreichte Korrektur sowohl klinisch als auch radiologisch nachzuvollziehen. Dies wird zudem durch die postoperativ geschilderte Beschwerdereduktion verdeutlicht.

Der entsprechend der Definition von Bernasconi et al (2017) als Folge eines „technischen Fehlers“ zu bezeichnenden „Unterkorrektur“ können verschiedene Ursachen zugrunde liegen. Ein Implantatversagen durch Dislokation oder Materialermüdung wurde bei radiologisch regelrechtem, unbeschädigtem Sitz des Implantates als Ursache der unzureichenden Korrektur ausgeschlossen. Auch ein begrenztes Korrekturpotential ist bei im Operationsbericht angegebener, nicht vollständiger Aufspreizung des Implantates und damit möglicher höhergradiger Korrektur als Ursache ausgeschlossen worden. Daher bleibt letztlich nur eine intraoperative, fehlerhafte Bewertung der Fußstellung als Ursache.

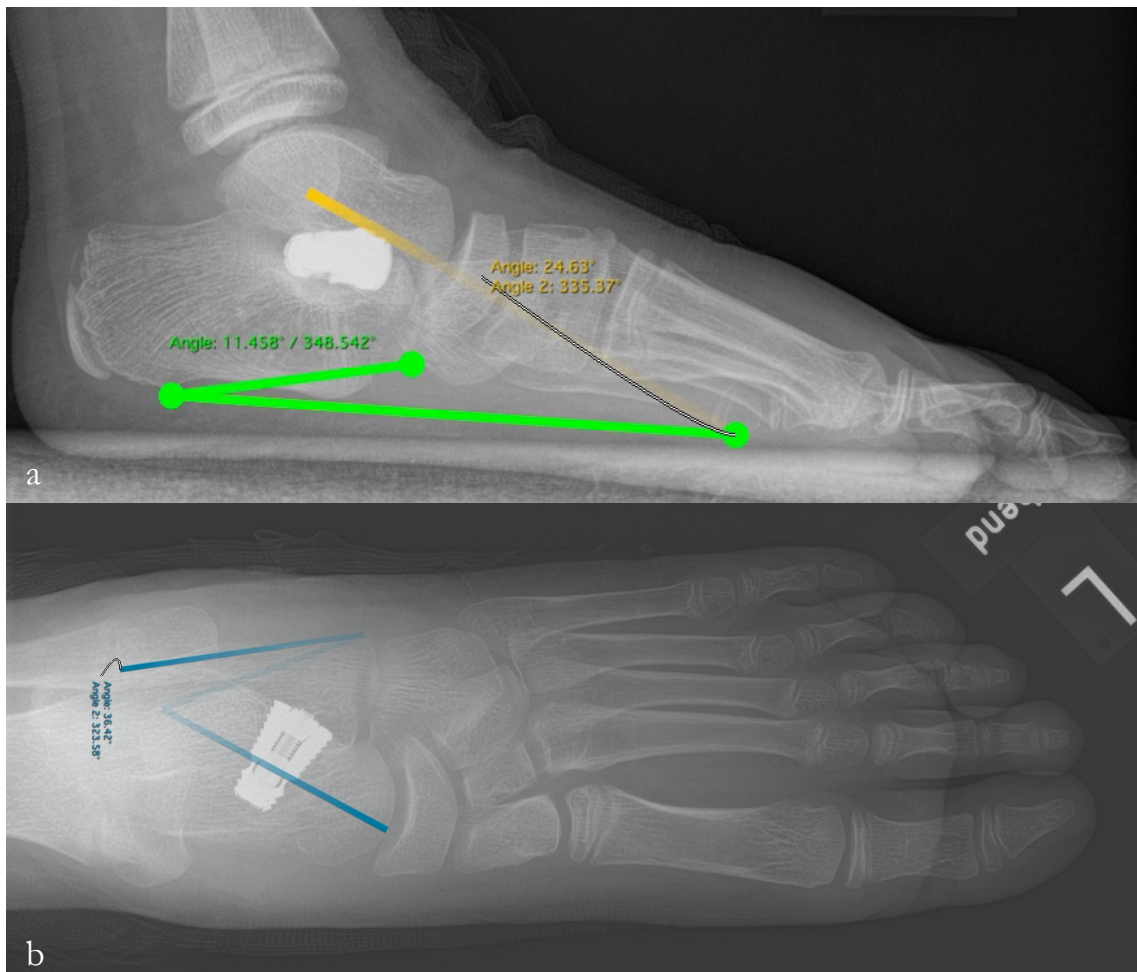


Abbildung 38: Röntgenbild in 2 Ebenen, postoperativer Befund: lateraler Strahlengang (a) mit Messwert postopCP von 11,5° (postopCP 12,2°) und Messwert postopTD von 24,6° (postopTD 23,0°) und dorsoplantarer Strahlengang (b) mit Messwert postopTC von 36,4° (postopTC 3

4.3.2 Fehleranalyse - Prolongierte Schmerzen am Sinus tarsi und peroneale Spasmen

Bei einem Patienten (männlich, elf Jahre, bilaterale Implantation) bestanden prolongierte Schmerzen am Sinus tarsi links und belastungsabhängige peroneale Spasmen am rechten Fuß.

Die postoperative Wundheilung verlief ohne Verzögerung oder besondere Auffälligkeiten. Die Befunddokumentation der hochfrequenten postoperativen Vorstellungen in der fußchirurgischen Sprechstunde beschreibt einen „deutlichen Druckschmerz“ und belastungsabhängige Schmerzen am Sinus tarsi links. Des Weiteren werden durch Traktion und Druck auf die Peronealsehnen auslösbare Schmerzen und „Spasmen“ beschrieben. Bis zur regulären postoperativen Kontrolluntersuchung 28 Tage nach subtalarer Arthrorise benutzte der Patient Gehstützen im Vier-Punkt-Gang. Unter

Physiotherapie waren die peronealen Beschwerden bis zum Abschluss der sechsten postoperativen Woche vollständig rückläufig und der Patient nicht mehr auf Hilfsmittel angewiesen. Entsprechend der Dokumentation berichtete der Patient bei der Nachuntersuchung 89 Tage nach Operation von seit einer Woche bestehender Beschwerdefreiheit im Bereich der Füße und wieder aufgenommenener sportlicher Aktivität. Die Untersuchung zu diesem Termin war entsprechend der Dokumentation regelrecht. Der AOFAS-Score für beide Füße betrug 90 Punkte.

Die peronealen Schmerzen entsprechen den nach subtalarer Arthrorise gehäuft auftretenden Spasmen der Mm. peronei und werden überwiegend als eine nicht „implantatspezifische“ Komplikation der subtalaren Arthrorise bezeichnet (Miller 2009; van Ooij et al. 2012; Bernasconi et al. 2017). Die Ursachen der peronealen Spasmen sind bisher nicht eindeutig belegt. Miller (1998) gibt in der Auswertung seiner Behandlungsergebnisse eine Fehlpositionierung des Implantates mit konsekutivem Reiz auf die Peronealsehnen als mögliche Ursache der muskulären Spasmen an. Eine Fehlpositionierung des Implantates im Kollektiv der vorliegenden Arbeit wurde radiologisch ausgeschlossen und erscheint bei ausreichender Distanz zwischen den Peronealsehnen und dem Implantat als unwahrscheinliche Ursache der Beschwerden. Überwiegend werden die peronealen Spasmen in der Literatur als „Irritation“ und verzögerte „Adaptation“ an die veränderte Stellung des Rückfußes bezeichnet und durch von außen auf den Fuß einwirkende Kräfte, wie Stöße oder Anpralltraumata, beschrieben (Miller 2009; van Ooij et al. 2012; Bernasconi et al. 2017).

Die Spasmen der Mm. peronei treten auch typischerweise bei Vorliegen einer tarsalen Coalitio auf. Sie sind in solchen Fällen oft durch Beklopfen der Muskelbäuche auslösbar und werden mit der reaktiv vermehrten Spannung und Verkürzung der betroffenen Muskeln bei verringerter Beweglichkeit des Subtalargelenkes begründet (Kelo und Riddle 1998; Knapp et al. 1998; Zhou et al. 2014). Im Vergleich zur rigiden Coalitio ist die Verkürzung der Peronealsehnen bei flexiblem Knickplattfuß weniger ausgeprägt. Jedoch ist die Anspannung der Peronealsehnen und ihrer Muskelbäuche bei verringerter Rückfußversion gesteigert und stellt damit einen reaktiven Spasmus der Muskulatur bei von außen einwirkender Kraft mit zusätzlicher Dehnung der Sehnen oder Muskelbäuche dar. Die im Verlauf üblicherweise unter Physiotherapie nachlassenden Beschwerden sind durch die zunehmende Dehnung und Längenadaptation der Mm. peronei ebenfalls erklärt.

In der Literatur werden transiente peroneale Spasmen überwiegend als eine für die subtalare Arthrorise bekannte Komplikation bezeichnet, ohne deren Häufigkeit anzugeben oder in die Berechnung der Komplikationsrate einfließen zu lassen (Metcalf et al. 2011). Pellegrin et al. (2014) berichten von 14 Patienten in einem untersuchten Kollektiv aus 398 Patienten (1,51%) mit „schmerzhafter Kontraktur der peronealen Muskeln“ während Forg et al. (2001) einen Patienten (2,5%) mit „peronealem Spasmus nach einem kraftvollen Schlag auf den rechten Fuß“ detektieren (Forg et al. 2001; De Pellegrin et al. 2014). Die in dem

vorliegenden Kollektiv bei einem Patienten (2,0%) dokumentierten transienten Beschwerden sind als peroneale Spasmen mit der Häufigkeit auf dem Niveau anderer Studien zu bewerten.

Die in diesem Fall belastungsabhängigen und auf Druck aufgetretenen Beschwerden am Sinus tarsi sind eine häufig beschriebene Komplikation nach subtalarer Arthrorise und werden im Abschnitt 4.3.3 diskutiert.

4.3.3 Fehleranalyse - Persistierende Schmerzen am Sinus tarsi

Eine zwölf Jahre alte Patientin berichtete über anhaltende Schmerzen am Sinus tarsi nach unilateraler subtalarer Arthrorise des rechten Fußes. Entsprechend der Dokumentation der Patientenakte führte eine seit dem sechsten Lebensjahr eingeleitete konservative Therapie mit Einlagenversorgung und Physiotherapie nicht zu einer relevanten Stellungskorrektur des rechten Fußes oder wesentlicher Beschwerdereduktion. Die Patientin beschrieb entsprechend der AOFAS-AHS heftige Schmerzen mit mäßigen Einschränkungen im Alltag und mäßigen Beschwerden auf unebenem Untergrund zu laufen. Die Schmerzen wurden im Untersuchungsbefund als belastungsabhängig und auf Druck auslösbar im Bereich der distalen Sehne des M. tibialis posterior dokumentiert. Die Ausrichtung des Fußes wurde entsprechend des AOFA-AHS mit fünf Punkten als mäßig fehlgestellt bewertet. Der vor der Operation erhobene AOFAS-*Score* betrug 47 Punkte.

Die der Patientenakte entnommene Dokumentation zum Operationstag beschrieb eine komplikationslos durchgeführte Operation mit regelrecht radiologischem Sitz der eingebrachten Vario-Schraube®. Die zeitnah zur Operation durchgeführten Kontrolluntersuchungen zeigten eine unauffällige Wundheilung und einen morphologisch regelrecht korrigierten Fuß in physiologischer Stellung ohne äußerliche Auffälligkeiten. Die angefertigten Röntgenaufnahmen (30 Tage nach subtalarer Arthrorise) und erhobenen Winkelgrade dokumentieren die regelrechte Lage des eingebrachten Implantates bei regelrechter Korrektur der zuvor bestandenen Fehlstellung. Die Patientin berichtet zu diesem Vorstellungstermin, dass die präoperativen Beschwerden am medialen Rückfuß nicht mehr bestanden. Seit der Operation bestanden ausgeprägt belastungsabhängige, lateral betonte Schmerzen am Rückfuß. In der Verlaufskontrolle 87 Tage nach Operation klagte die Patientin über anhaltend belastungsabhängige Schmerzen im Bereich des Sinus tarsi mit mäßiger Einschränkung im Alltag und bei Freizeitaktivitäten sowie beim Laufen auf unebenem Untergrund. Die Intensität der Schmerzen wurde als im Vergleich zum präoperativen Befund wenig stark ausgeprägt beschrieben. Der zu diesem Zeitpunkt erhobene AOFAS-*Score* beträgt 70 Punkte. In den darauffolgenden Monaten war die Patientin unter Analgetika im Alltag beschwerdefrei. Entsprechend der Dokumentation einer Kontrolluntersuchung sechs Monate nach dem Eingriff wurde ein AOFAS-*Score* von 83 Punkten, bei noch leichten Schmerzen und Einschränkungen während Freizeitaktivitäten erhoben. Die Schmerzen wurden weiterhin dem Sinus tarsi zugeordnet. Analgetika wurden

nicht mehr eingenommen. Der Stellungsbefund war weiterhin regelrecht. Eine Implantatentfernung wurde von der Patientin und deren Eltern abgelehnt.

Die in diesem Fall und in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Schmerzen am Sinus tarsi sind eine häufig beschriebene Komplikation nach subtalarer Arthrorise. Metcalfe et al. (2011) geben die Häufigkeit für „Sinus-tarsi-Schmerz“ für die mit der Vario-Schraube® vergleichbaren Implantaten mit 7,4% und Tan et al. (2021) mit 5,8% an (Metcalfe et al. 2011; Tan et al. 2021). Das häufigste Auftreten wird dabei von Needleman (2006) mit 46% und Viladot et al. (2003) mit 31,6% berichtet. In der vorliegenden Untersuchung traten Beschwerden am Sinus tarsi an zwei Füßen (4,1%) auf.

Die Ursachen dieser Schmerzen sind bisher nicht eindeutig beschrieben. Fernández de Retana et al. (2012) beschreiben den Sinus-tarsi-Schmerz als „Intoleranz gegenüber dem Implantat“ bei „nicht passendem Implantat“ oder zu starker Korrektur der Fehlstellung und nicht als eine durch den Operateur verursachte Komplikation (Fernández de Retana et al. 2012). Das Auftreten einer Synovialitis im Sinus tarsi als Reaktion auf Abriebpartikel des Implantates kann zudem mit Schmerzen einhergehen und wird als implantat-assoziierte Komplikation beschrieben (Fernández de Retana et al. 2012). Van Ooij et al. (2012) sehen den Sinus-tarsi-Schmerz als „wahrscheinlich durch Überkorrektur“ oder ein „zu großes Implantat“ verursacht.

In den in vorliegender Untersuchung aufgetretenen Fällen mit Schmerzen am Sinus tarsi wurden eine Überkorrektur oder Unterkorrektur radiologisch und klinisch ausgeschlossen. Auch Sitz und Größe des Implantates wurden radiologisch überprüft und konnten als Ursache für die geklagten Beschwerden ausgeschlossen werden. Eine Fremdkörperreaktion ist bei Verwendung eines Titanimplantates, wie der verwendeten Vario-Schraube®, unwahrscheinlich.

4.3.4 Fehleranalyse - Spontane Dislokation des Implantates

Bei einer zwölf Jahre alten Patientin kam es zu einer spontanen Dislokation des Implantates etwa fünf Monate nach subtalarer Arthrorise.

Die Vorstellung zu einer Kontrolluntersuchung erfolgte auf Veranlassung der Mutter 187 Tage nach bilateraler subtalarer Arthrorise. Die Patientin berichtete von seit etwa einem Monat spontan aufgetretenen Beschwerden mit Schmerzen des linken lateralen Rückfußes bei Belastung und in Ruhestellung des Fußes. An besondere Belastung der Füße oder ein die Füße und Sprunggelenke betreffendes Trauma konnte sich die Patientin nicht erinnern. Im vorangegangenen postoperativen Intervall sei die Patientin im Alltag uneingeschränkt mobil in Konfektionsschuhen ohne Einlagen, beschwerdefrei und voll sportfähig gewesen. Auf Nachfragen berichtete die Mutter der Patientin über ein subjektiv wahrgenommenes deutliches Fußwachstum. Die Anamnese der Patientenakte dokumentiert diesbezüglich die wörtliche Aussage der Mutter, dass die Füße der Tochter „gefühlte Schuhgröße übersprungen“ hätten. Es fanden sich keine Angaben in der Patientenakte zu vorliegender

Fußlänge am Operationstag oder in der Dokumentation der Kontrolltermine im Verlauf. Die radiologische Kontrolle 187 Tage nach Arthrorise dokumentiert eine linksseitig unilaterale Dislokation des Implantates nach lateral aus dem Sinus tarsi heraus mit Abkipfung der Vario-Schraube® in kranialer Richtung (Abbildung 39).

Die zuvor bei der postoperativen Verlaufskontrolle vier Wochen nach subtalarer Arthrorise angefertigte Röntgenaufnahme des Fußes zeigte die regelrechte Lage und Größe des Implantates und einen regelrechten Stellungsbefund des Fußes. Auch die klinische Untersuchung zeigte einen regelrechten Stellungsbefund ohne Schmerzen oder Einschränkungen im Alltag.

Es erfolgte eine Revisionsoperation mit Explantation des dislozierten Implantates der Größe 10 mm und erneuter subtalarer Arthrorise des linken Fußes mit einem Implantat der Größe 13 mm. Der dann folgende postoperative Verlauf gestaltete sich ohne Auffälligkeiten oder Komplikationen. Der weitere Nachbeobachtungszeitraum bei dieser Patientin beträgt 19 Monate (584 Tage).

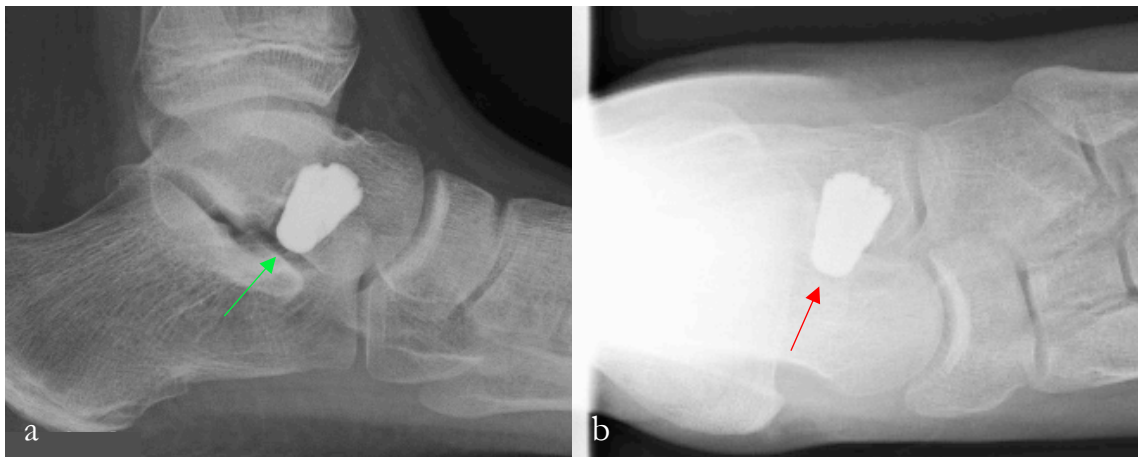


Abbildung 39: Röntgenbild des linken Fußes im lateralen (a) und dorsoplantaren (b) Strahlengang unter Belastung: Dislokation der Vario-Schraube® nach lateral (roter Pfeil) mit Abkipfung des Implantates nach kranial (grüner Pfeil)

Die spontane Dislokation oder Extrusion eines Implantates aus dem Sinus tarsi ist entsprechend der Definition von Bernasconi et al. (2017) eine technische Komplikation bei fehlerhafter Implantation durch den Operateur oder eine implantat-assoziierte Komplikation bei ungeeigneter Implantatgröße oder Implantatinsuffizienz mit Materialermüdung. In der Literatur wird die Häufigkeit einer spontanen Extrusion des für die subtalare Arthrorise verwendeten Implantates mit 0% bis 22% angegeben (Giannini et al. 1985; Verheyden et al. 1997; Metcalfe et al. 2011; Tan et al. 2021). Die Dislokationsrate für Implantate entsprechend der hier verwendeten Schraube als im Sinus tarsi „free floating“ Implantat, beträgt nach Metcalfe et al. (2011) 2,7% (Carranza-Bencano et al. 2000; Cicchinelli et al. 2008; Giannini et al. 1985; Gutiérrez und Lara 2005; Nelson et al. 2004; Scialpi et al. 2008; Verheyden et al. 1997; Zaret und Myerson 2003).

In dem vorliegenden Fall wurde eine Implantatinsuffizienz entsprechend dem Operationsbericht zur Implantatentfernung und erneuten Arthrorise ausgeschlossen. Dieser beschreibt ein entsprechend dem radiologischen Befund disloziertes Implantat ohne „äußere Zeichen von Materialermüdung“ oder „Defekt“ des Implantates. Ebenso wird durch den Operationsbericht eine akute posttraumatische laterale Instabilität des oberen und unteren Sprunggelenkes durch intraoperative Überprüfung der lateralen Bandspannung als mögliche Ursache einer Implantatdislokation ausgeschlossen. Auch eine fehlerhafte Implantation als Ursache für die aufgetretene Implantatdislokation erscheint im Hinblick auf die postoperativ durchgeführte radiologische Verlaufskontrolle ohne einen Hinweis auf eine primär fehlerhafte Lage des Implantates oder eine fehlerhaft gewählte Implantatgröße unwahrscheinlich. Eine fassbare Ursache entsprechend der Definition der Komplikationen von Bernasconi et al. (2017) lässt sich daher in dem vorliegenden Fall nicht sicher nachweisen.

In den Arbeiten, die in der Auswertung der eigenen Behandlungsergebnisse eine Implantatdislokation als Komplikation angeben, wird eine traumatische Dislokation als Ursache beschrieben oder es erfolgen keine Angaben zur Ursache der Implantatextrusion (Scharer et al. 2010; van Ooij et al. 2012; Cao et al. 2017; Memeo et al. 2019). Im Hinblick auf die bisher veröffentlichten Dislokationsraten ist die in vorliegender Untersuchung errechnete Dislokationsrate nicht erhöht.

Hsieh et al. (2019) haben den „Einfluss des Körpergewichts auf die extraossäre subtalare Arthrorise“ untersucht und wiesen eine erhöhte Dislokationsrate der Implantate und ein „schlechteres“ radiologisches Korrekturergebnis nach subtalarer Arthrorise mit zunehmendem BMI der untersuchten Patienten nach. In vorliegendem Fall fällt in diesem Zusammenhang der maximale in vorliegendem Kollektiv errechnete BMI von $23,6\text{kg}/\text{m}^2$ bei der Patientin als mögliche Ursache der Komplikation auf. Bei dauerhaft gesteigerter Belastung des Implantates durch das Körpergewicht ist eine schrittweise Extrusion des Implantates im postoperativen Verlauf von in diesem Fall 187 Tagen denkbar. Auch die von der Mutter berichtete deutliche Zunahme der Fußlänge mit im Sagittaldurchmesser vergrößertem Sinus tarsi ist in diesem Zusammenhang als mögliche Ursache denkbar.

Die statistische Untersuchung der radiologischen Behandlungsergebnisse der vorliegenden Untersuchung und des BMI zeigte keine signifikante Korrelation. Die Ergebnisse von Hsieh et al. (2018) können daher nur zum Teil anhand des vorliegenden Kollektivs nachvollzogen werden.

4.3.5 Fehleranalyse - traumatische Dislokation des Implantates

Ein 17 Jahre alter Patient stellte sich im Nachbeobachtungszeitraum 967 Tage (31 Monate) nach bilateraler subtalarer Arthrorise im Alter von 14 Jahren zur Kontrolle des linken Fußes vor. Der Patient berichtete über ein vor zwei Tagen beim Fußballspielen stattgehabtes Distorsionstrauma des linken Sprunggelenkes mit akut aufgetretener

Schmerzhaftigkeit und Schwellung des lateralen Rückfußes. Im Verlauf des darauffolgenden Tages sei es zu einem Hämatom und dadurch einer deutlichen Einschränkung der axialen Belastungsfähigkeit des linken Fußes gekommen. Die Anamnese beschreibt einen „unklaren Traumamechanismus“ im Rahmen eines „Zweikampfes“ beim Fußballspielen. Der Patient beschrieb, dass er mit dem Fuß im Rasen hängengeblieben sei.

Der in der Patientenakte dokumentierte Untersuchungsbefund beschreibt eine umschriebene Schwellung mit Hämatom und Druckschmerzen am anterolateralen oberen Sprunggelenk und über dem Sinus tarsi. Die Fußstellung wurde als physiologisch mit regelrecht symmetrischer Rückfußachse und Längsgewölbe beschrieben. Eine Überprüfung der Bandstabilität ist entsprechend der Sprechstundendokumentation bei ausgeprägten Schmerzen nicht durchgeführt worden. Die Röntgenaufnahme zeigte eine Dislokation des Implantates nach lateral aus dem Sinus tarsi mit Abkippung der Implantatbasis in kraniale Richtung. Die abgebildeten Epiphysenfugen des linken distalen Unterschenkels und des linken Fußes waren als Ausdruck des abgeschlossenen Fußwachstums vollständig geschlossen. Die Stellung des Fußes war auf dem Röntgenbild bei schmerzbedingt eingeschränkter Belastung des Fußes während der Röntgenaufnahme nicht zu beurteilen.

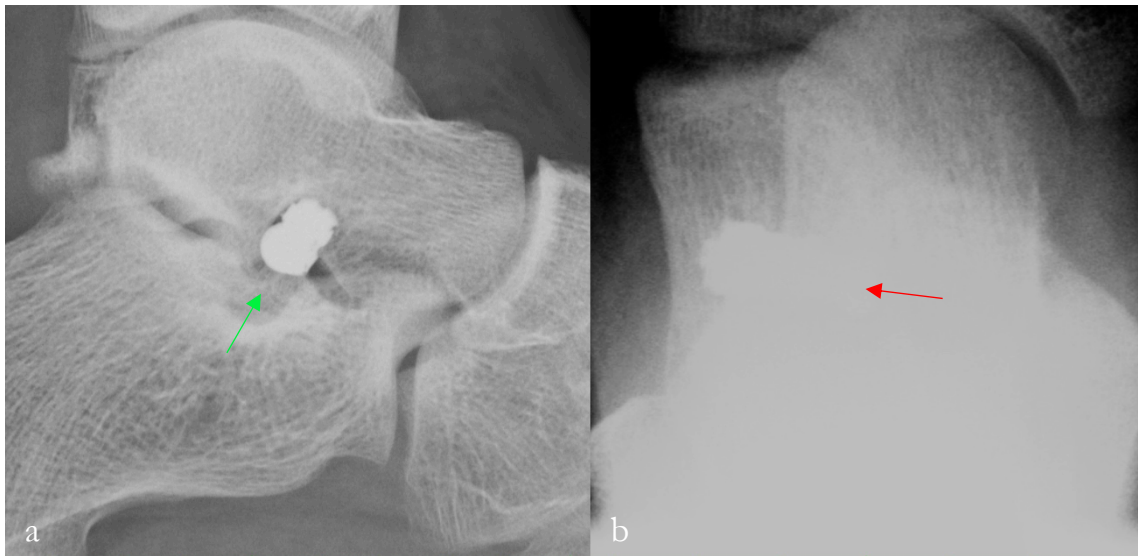


Abbildung 40: Röntgenbild des Fußes, lateraler (a) und dorsoplantarer (b) Strahlengang: Dislokation der Vario-Schraube® in Richtung des lateralen Fußrandes (roter Pfeil) und diskrete Abkippung der Implantatbasis in kraniale Richtung (grüner Pfeil)

Eine durchgeführte Ultraschalluntersuchung des lateralen Kapselbandapparates zeigte eine Ruptur des Ligamentum fibulotalare anterius sowie eine Ruptur des Ligamentum fibulocalcanare.

Entsprechend der Operationsdokumentation erfolgte eine beidseitige komplikationslose Entfernung der Implantate am Folgetag der Vorstellung. Die postoperative Empfehlung beinhaltete unter anderem das konsequente Tragen einer Sprunggelenkorthese aufgrund

einer intraoperativ diagnostizierten vermehrten lateralen Aufklappbarkeit des oberen und unteren Sprunggelenkes.

Bei der Kontrolluntersuchung drei Monate nach Implantatentfernung war der Patient im Alltag und bei sportlicher Belastung ohne Beschwerden. Er sei im Alltag ohne Hilfsmittel mobil. Zu sportlicher Betätigung habe er die Sprunggelenkorthese getragen. Der Untersuchungsbefund dokumentiert eine plantigrade Fußform mit regelrecht ausgebildetem Längsgewölbe und physiologischem Rückfußvalgus bei voller Belastung des Fußes. Der Rückfußvalgus war im Zehenspitzenstand vollständig in eine Varusposition ausgleichbar.

Die zu diesem Termin angefertigte Röntgenaufnahme des Fußes in zwei Ebenen bestätigte eine plantigrade Stellung des Fußes. Der Calcaneusneigungswinkel betrug $24,5^\circ$. Der Talusbasisreferenzwinkel betrug $31,1^\circ$ und der Talocalcaneare Winkel betrug $20,1^\circ$.

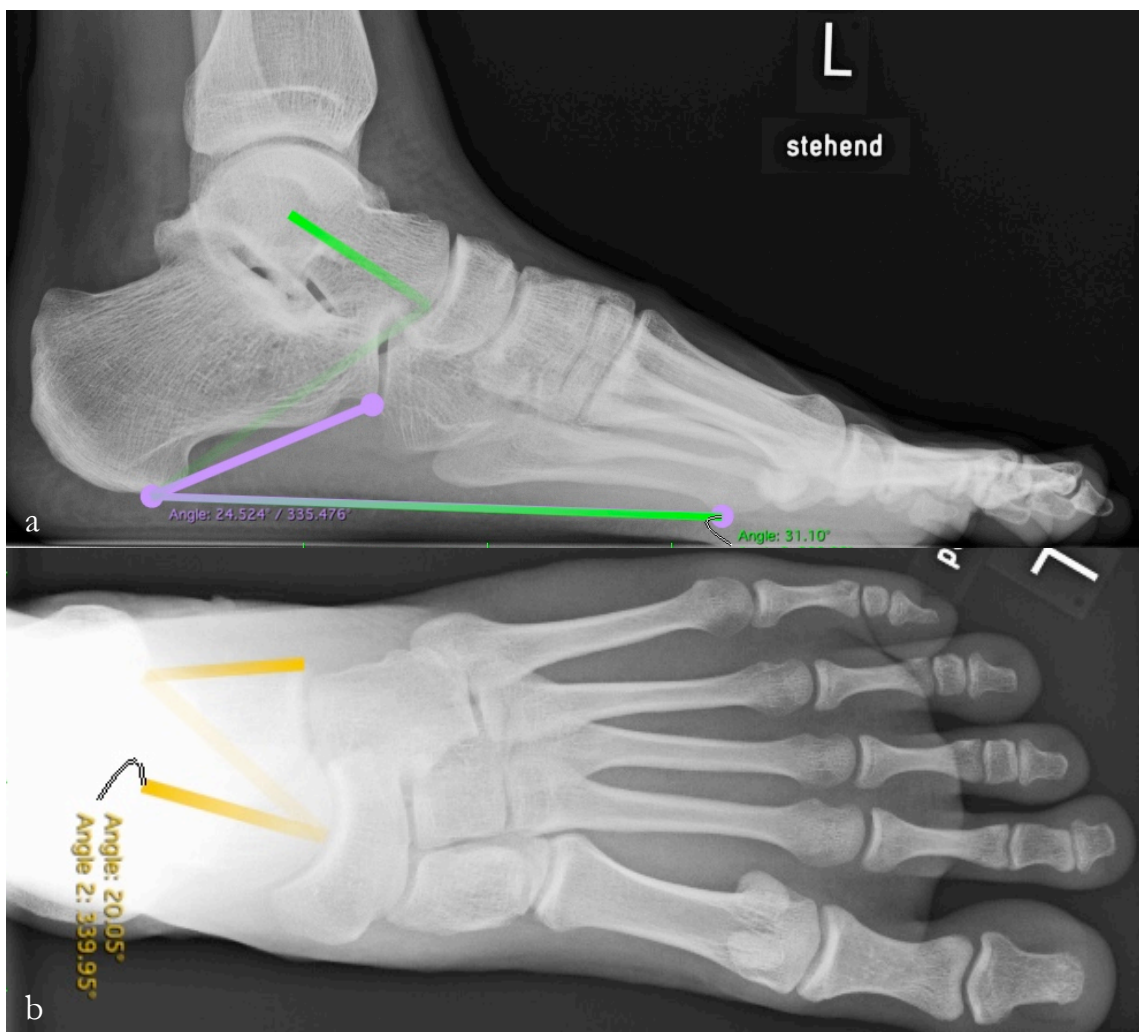


Abbildung 41: Röntgenaufnahme des rechten Fuß im lateralen (a) und dorsoplantaren (b) Strahlengang; radiologischer Befund 3 Monate nach Explantation der Vario-Schraube® in plantigrader Fußstellung

Dem Patienten wurden eine schrittweise Entwöhnung von der Sprunggelenkorthese und ein schrittweiser Belastungsaufbau empfohlen. Mit dem Patienten wurde eine

Verlaufskontrolle sechs Monate nach Implantatentfernung vereinbart. Der Nachbeobachtungszeitraum der vorliegenden Untersuchung endet etwa fünf Monate nach Implantatentfernung.

4.3.6 Komplikationsrate und Vergleich mit der Literatur

Die Komplikationen nach subtalärer Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] zeigen die für die subtaläre Arthrorise üblicherweise beschriebenen ohne Hinweis auf das Auftreten anderer, bisher nicht nach subtalärer Arthrorise aufgetretener Komplikationen (Lanham 1979; Metcalfe et al. 2011). Sie entsprechen den bereits vorbeschriebenen mit anderen Implantaten. Nach subtalärer Arthrorise mit dem Vario Subtalar System[®] kommt es im untersuchten Kollektiv nicht zum Auftreten von für die subtaläre Arthrorise ungewöhnlichen Komplikationen.

In der Betrachtung der Häufigkeit von Komplikationen in Bezug zur untersuchten Fallzahl ergibt sich bei Berücksichtigung der oben beschriebenen Fälle mit implantat- oder therapie-assoziiert kompliziertem Verlauf eine Komplikationsrate von 10,2%. In einem Fall (2%) wurde aufgrund der zuvor durchgeführten subtalären Arthrorise mit im postoperativen Verlauf aufgetretener Dislokation eine Revisionsoperation durchgeführt.

Die in Abschnitt 4.3.5 beschriebene traumatische Dislokation des Implantates ist nicht als eine implantat-assoziierte Komplikation zu werten. Die geschilderte Anamnese, der klinische Untersuchungsbefund und der intraoperativ erhobene Befund belegen die traumatische Genese der Dislokation des Implantates. Die Implantatentfernung war bei abgeschlossenem Knochenwachstum unabhängig von der traumatischen Dislokation als ein übliches, sich der Arthrorise im Normalfall anschließendes Verfahren, indiziert. In der Literatur beschriebene, ähnliche Konstellationen wurden ebenfalls nicht als dem Implantat oder dem Verfahren zuzuordnende Komplikation gewertet (Lanham 1979; Cao et al. 2017).

In den Publikationen über die Behandlung des kindlichen Knickplattfußes mit subtalärer Arthrorise durch verschiedene verfügbare Implantate und Techniken, wird von sehr unterschiedlichen Komplikationsraten berichtet. Metcalfe et al. (2011) berichten in einer Metaanalyse von Arbeiten bis zum Jahr 2010 über Komplikationsraten von 4,8% für bioresorbierbare Implantate bis hin zu 19% für in den Calcaneus eingeschraubte Implantate (Metcalfe et al. 2011). Für die entsprechend der Vario-Schraube[®], von Metacalf et al. (2011) als „*free floating*“ und Vogler (1987) als „*self locking*“ bezeichneten Implantate, wird eine Komplikationsrate von 14,9% und eine Explantationsrate von 7,9% angegeben (Lanham 1979; Giannini et al. 1985; Verheyden et al. 1997; Carranza-Bencano et al. 2000; Giannini et al. 2001; Zaret und Myerson 2003; Nelson et al. 2004; Gutiérrez und Lara 2005; Needleman 2006; Cicchinelli et al. 2008; Scialpi et al. 2008; Scharer et al. 2010). Die aus den Daten von Metcalfe et al. (2011) für alle eingeschlossenen Arbeiten zu errechnende Komplikationsrate beträgt 16,6% und die Rate für komplikationsbedingte Explantationen beträgt 8,4%. Tan et al. (2021) berichten in der Metaanalyse von insgesamt 17 Arbeiten bis zum Jahr 2018 über

eine mittlere Komplikationsrate von 8,8% bei 1312 Patienten. In den in die Analyse eingeschlossenen Untersuchungen wird sehr unterschiedlich von den aufgetretenen Komplikationen berichtet. Sanchez et al. (1999) geben die Komplikationsrate von 38 beobachteten Füßen mit 39% an. In 10 Fällen nach Arthrorise mit einem Staple sei es zu einem Rezidiv der Valgusstellung des Rückfußes und zum Teil zur Lockerung des Implantates gekommen (Sanchez et al. 1999; Tan et al. 2021).

Bei insgesamt sechs in die Analyse von Tan et al. (2021) eingeschlossenen Untersuchungen (304 Füße) werden keine Komplikationen beschrieben (Giannini et al. 2003; Jerosch et al. 2009; Kellermann et al. 2011; Giannini et al. 2017; Caravaggi et al. 2018; Indino et al. 2020). Das gänzliche Fehlen von Komplikationen muss jedoch zumindest bei einem Teil dieser Arbeiten im Hinblick auf einen möglichen Interessenkonflikt hinterfragt werden. Giannini et al. (2003 und 2017) berichten in zwei Veröffentlichungen über die Behandlungsergebnisse an 102 Füßen. Entsprechend den veröffentlichten Ergebnissen seien keine Komplikationen in der Behandlung mit subtalarer Arthrorise aufgetreten (Giannini et al. 2003; Giannini et al. 2017). Das dabei verwendete Implantat wurde durch den Erstautor entwickelt und erstmals 1985 sowie in einer bioresorbierbaren Variante erneut im Jahr 2001 von ihm und seiner Arbeitsgruppe beschrieben (Giannini et al. 1985; Giannini et al. 2001). Auch die von Carravaggi et al. (2018) veröffentlichten Ergebnisse über die subtalare Arthrorise mit dem von Giannini entwickelten Implantat an 26 Füßen enthalten keine Angaben zu möglichen aufgetretenen Komplikationen. Indino et al. (2020) berichten über ausschließlich komplikationslose Verläufe bei Verwendung des Giannini-Implantates an 112 Füßen. Demgegenüber berichten Gutiérrez und Lara (2005) über in sechs Fällen (9,2%) auftretende Komplikationen in der Behandlung von 65 Füßen und Verheyden et al. (1997) über eine Dislokationsrate von 22% mit den von Giannini inaugurierten Implantaten (Verheyden et al. 1997; Gutiérrez und Lara 2005; van Ooij et al. 2012; Tan et al. 2021).

Vergleicht man die in der vorliegenden Untersuchung erhobene Komplikationsrate von 10,2% mit den in der Literatur beschriebenen Komplikationsraten mit diversen Implantaten, ist die Häufigkeit der Komplikationen in Bezug zur untersuchten Fallzahl mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen vergleichbar (Metcalf et al. 2011; Tan et al. 2021). Insbesondere der Vergleich der gefundenen Komplikationen mit Komplikationen, von mit der Vario-Schraube® vergleichbaren Implantaten, zeigt eine geringere Komplikationsrate in der Behandlung mit dem Vario Subtalar System®. Die für diese Implantate beschriebene komplikations-assoziierte Explantationrate übersteigt die in dieser Untersuchung im Kollektiv ermittelte Explantationrate (Metcalf et al. 2011). Die Arbeitshypothese V wird damit bestätigt.

Die in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen prolongierten Schmerzen am Sinus tarsi und der Peronealsehnen waren im Verlauf vollständig rückläufig. In der Literatur werden postoperativ auftretende Schmerzen am Sinus tarsi und der Peronealsehnen unterschiedlich bewertet. Ein großer Teil der Autoren bewertet die Schmerzen nur dann als Komplikation,

wenn sie postoperativ persistieren und eine Entfernung des Implantates indizieren. Andernfalls wurde von diesen Autoren Schmerzen am Sinus tarsi und peronealen Spasmen nicht als behandlungs-assoziierte Komplikation bewertet (Lundeen 1985; Viladot 1992; Grady und Dinnon 2000; Forg et al. 2001). In anderen Untersuchungen werden postoperative Schmerzen am Sinus tarsi oder der Peronealsehnen abhängig von der Dauer als Komplikation bewertet (Koning et al. 2009; Wen et al. 2017). Eine detaillierte Eingrenzung ab welcher Zeitdauer Schmerzen als persistierend bezeichnet und damit als Komplikation bewertet werden, findet in den einbezogenen Untersuchungen nicht statt. In dieser Untersuchung wurden alle über den Zeitpunkt der Verlaufskontrolle (T3) hinaus bestehenden Schmerzen am Sinus tarsi oder im Bereich der Peronealsehnen als persistierend bezeichnet und damit als Komplikation gewertet. Dabei werden auch Schmerzen als Komplikation bewertet, denen, wie in Abschnitt 4.3.3 beschrieben, keine Implantatentfernung folgte. Über die postoperative Kontrolle (T3) hinaus anhaltende, aber bis zum Zeitpunkt der Verlaufskontrolle vollständig rückläufige Schmerzen wurden ebenfalls detektiert und als prolongiert bezeichnet. Diese wurden bei der Bewertung der Komplikationen trotz verschiedenartiger Definition der schmerzbedingten Komplikationen im Vergleich zu Ergebnissen anderer Implantate berücksichtigt. Streng belastungsabhängige und diffuse Schmerzen des gesamten Fußes, im Sinne einer Ermüdung des Fußes, ohne wesentliche Einschränkung im Alltag oder klare Assoziation zu anatomischen Strukturen des Rückfußes wurden in vorliegender Untersuchung nicht als Komplikation gewertet. Bewertet man, wie in der überwiegenden Anzahl der veröffentlichten Ergebnisse lediglich die „länger“ anhaltenden oder zu Explantation führenden Schmerzen als Komplikation, errechnet sich für die Therapie mit subtalarer Arthorise mit der Vario-Schraube® eine Komplikationsrate von 6,1%.

Im vorliegenden Kollektiv zeigte sich entsprechend dem in Abschnitt 4.3.4 beschriebenen Verlauf in einem Fall (2,0%) eine spontane Dislokation des Implantates. Entsprechend den Ergebnissen von Metcalfe et al (2011) wird in den eingeschlossenen Arbeiten in 2,7% der untersuchten Fälle von einer Dislokation eines der Vario-Schraube® entsprechenden, sog. „free floating“ Implantates berichtet. Die für diese Implantatform angegebenen Dislokationsraten reichen entsprechend den Angaben von Metcalfe et al. von 2,5% bis zu 22%. In der Auswertung von Tan et al (2021) wird bei der Angabe der Komplikationen nicht zwischen den verschiedenen Implantatkategorien für die subtalare Arthorise unterschieden. Hier kann aus den angegebenen Daten eine Dislokationsrate von 2,2% abgeleitet werden. Die in dieser Untersuchung aufgetretene Dislokation der Vario-Schraube® in Bezug zur gesamten untersuchten Fallzahl entspricht damit dem Niveau bereits veröffentlichter Zahlen einer Implantatdislokation. In vorliegender Untersuchung ist es im Vergleich zu anderen Implantaten nicht zu einer vermehrt aufgetretenen Dislokation des Implantates gekommen.

Die in Abschnitt 4.3.1 beschriebene, an einem Fuß aufgetretene Unterkorrektur der Fehlstellung, mit einem radiologisch und klinisch verbliebenem Rückfußvalgus, entspricht

2% des untersuchten Kollektivs. Eine festgestellte Unterkorrektur ist entsprechend den von Metcalfe et al. (2011) ausgewerteten Ergebnissen die häufigste Komplikation der subtalaren Arthrorise mit den der Vario-Schraube[®] entsprechenden Implantaten und wird mit 15,4% angegeben (Metcalfe et al. 2011). Tan et al. (2021) berichten in der Metaanalyse ebenfalls von der „Unterkorrektur“ der Fehlstellung als die am meisten auftretende Komplikation. Dabei muss berücksichtigt werden, dass von den untersuchten Arbeiten nur Memeo et al. (2019) die „inkomplette Korrektur“ der Fehlstellung als Komplikation angeben. Alle weiteren von Tan et al. (2021) ausgewerteten Arbeiten geben keine gesonderte Auskunft über die postoperative Stellung und eine mögliche unzureichend durchgeführte Korrektur.

4.4 Limitationen der Arbeit und Ausblick

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Behandlungsergebnisse der subtalaren Arthrorise mit der Vario Subtalar System[®] durch Auswertung von Patientenakten und Röntgenbildern retrospektiv untersucht. Die Auswertung bestätigt die Wirksamkeit der subtalaren Arthrorise mit dem Vario-Subtalar-System[®] auf die Fehlstellung des Fußes und eine der Literatur entsprechende Komplikationsrate im untersuchten Kollektiv. Die vor der Untersuchung aufgestellten Arbeitshypothesen wurden durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt und geben einen Hinweis auf die Wirksamkeit der subtalaren Arthrorise mit dem verwendeten Implantat. Ein Nachweis der generellen Wirksamkeit auf den juvenilen Knickplattfuß kann bei retrospektiver Untersuchung jedoch nur bedingt abgeleitet werden. Trotz Durchführung der Arthrorise durch nur einen Operateur, die Verwendung nur eines Implantates, standardisierter Röntgen- und Befunddokumentation mit etablierten Verfahren ist ein verzerrender Einfluss von Störfaktoren auf die untersuchten Daten bei retrospektiver Beobachtung nicht vollständig auszuschließen. Der Vergleich der untersuchten Patienten mit einer Kontrollgruppe mit alternativen Implantaten oder Operationsverfahren sollte in weiteren Untersuchungen prospektiv angestellt werden. Bei bisher fehlendem Nachweis der generellen Wirksamkeit des Vario Subtalar Systems[®] war dies jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Bisher veröffentlichte Arbeiten untersuchten die Behandlungsergebnisse nach subtalarer Arthrorise ebenfalls überwiegend retrospektiv (Metcalfe et al. 2011, Tann et al. 2020). Vereinzelt Arbeiten mit prospektiven Studiendesign kommen zu vergleichbaren Ergebnissen der Korrektur der Fehlstellung und Komplikationsrate mit unterschiedlichen Implantaten (Papamerkouriou et al. 2019; Chong et al. 2015; Hsieh et al. 2019).

Die Größe des in der vorliegenden Untersuchung beobachteten Patientenkollektivs ist mit den in der Literatur veröffentlichten Daten vergleichbar. In den von Tan et al. (2021) und Metcalfe et al. (2011) durchgeführten Metaanalysen der Behandlungsergebnisse nach subtalarer Arthrorise beträgt die durchschnittliche Größe des in den eingeschlossenen Arbeiten untersuchten Kollektivs 78 Füße. Giannini et al. (2003) berichten über das kleinste Kollektiv mit 14 Füßen und Faldini et al. (2018) über das größte untersuchte Kollektiv mit

283 Füßen. Der Median der in diesen Metanalysen untersuchten Kollektivgrößen beträgt 43 Füße. Das Vario Subtalar System[®] wurde im Jahr 2012 inauguriert. Alle in der Aukammklinik Wiesbaden behandelten, den Einschlusskriterien der vorliegenden Untersuchung entsprechenden Füße wurden in die Untersuchung eingeschlossen und untersucht.

Die im vorliegenden Kollektiv aufgetretenen Komplikationen wurden durch Auswertung der Operationsberichte in den untersuchten Patientenakten erfasst. Dabei wurde zwischen intraoperativen, während der Implantation der Vario Schraube[®] aufgetretenen Komplikationen und im postoperativen Nachbeobachtungszeitraum aufgetretenen Komplikationen unterschieden.

Zur Detektion von intraoperativen Komplikationen wurden die Operationsberichte nach Abweichungen vom üblichen Operationsablauf untersucht. In den ausgewerteten Operationsberichten des vorliegenden Patientenkollektivs werden alle Implantationen der Vario Schraube vom Operateur als komplikationsfrei ohne dokumentierte Abweichungen vom üblichen Operationsablauf beschrieben. Die Auswertung der Häufigkeit von intraoperativen Komplikationen bei der subtalaren Arthrorise mit dem Vario Subtalar System durch die vom Operateur selbst angelegten Operationsberichte ist als Limitation der vorliegenden Untersuchung anzusehen. Die Erfassung der Komplikationen liegt damit ausschließlich im Ermessen des beteiligten Operateurs. Nur wenn der Operateur selbst eine Abweichung vom üblichen Operationsablauf als Komplikation bewertet und diese im Operationsbericht dokumentiert, hätte diese in der vorliegenden Untersuchung als Komplikation erfasst werden können.

Die Erfassung der im postoperativen Nachbeobachtungszeitraum aufgetretenen Komplikationen erfolgte durch Auswertung der Sprechstundendokumentation in den Patientenakten. Dabei wurden die Abweichungen von üblichen postoperativen Verlauf entsprechend den beschriebenen Kriterien als Komplikationen bewertet und erfasst. Die Dokumentation der in die vorliegende Untersuchung eingeschlossenen Patientenakten ist in Bezug auf die beschriebenen Untersuchungszeitpunkte für alle Patienten vollständig. Es ist daher von einer vollständigen Detektion möglicher Komplikationen bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt (T4), drei Monate postoperativ bei allen in die vorliegende Untersuchung eingeschlossenen Patienten auszugehen. Im Rahmen der Nachuntersuchung (T4) wurde allen Patienten eine umgehende Vorstellung in der Aukammklinik Wiesbaden bei Auftreten von vermehrten Schmerzen oder Beschwerden empfohlen. Der Nachbeobachtungszeitraum, in dem Komplikationen durch Auswertung von Einträgen in die Patientenakte detektiert wurden liegt in vorliegender Untersuchung mindestens sechs Monate und längsten drei Jahre in Abhängigkeit von Zeitpunkt der Operation im Beobachtungszeitraum. Eine abschließende Untersuchung oder Kontakt zum Patienten zum Ende des Beobachtungszeitraumes der vorliegenden Untersuchung hat nicht stattgefunden. Es ist daher möglich, dass im Nachbeobachtungszeitraum aufgetretene Komplikationen nicht in der Aukammklinik Wiesbaden behandelt und damit nicht in der

Patientenakte dokumentiert und in der Untersuchung erfasst wurden. Die lückenlose Detektion von Komplikationen im Nachbeobachtungszeitraum über den Nachuntersuchungszeitpunkt hinaus ist somit nicht vollständig gewährleistet und als Limitation der vorliegenden Untersuchung anzusehen. In den von Metcalfe et al. (2011) und Tan et al. (2021) ausgewerteten Untersuchungen wird der Nachbeobachtungszeitraum nur zum Teil beziffert. Kellerman et al. (2011) beziffern die Beobachtungszeit in Bezug auf mögliche Komplikationen mit minimal 3 Monaten, während Koning et al. (2009) von der längsten Nachbeobachtung in Einzelfällen von mehr als 16 Jahren berichten. Detaillierte Angaben über die Erhebung der Komplikationen und mögliche, den Beobachtungszeitraum abschließende Untersuchungen zum Ausschluss bisher nicht detektierter Komplikationen werden von den Autoren nicht gemacht und sind entsprechend der vorliegenden Untersuchung ebenfalls nicht auszuschließen (Metcalfe et al. 2011; Tan et al. 2021).

Eine weitere Limitation der vorliegenden Untersuchung ist die bisher fehlende Untersuchung der dauerhaften Wirkung der subtalaren Arthorise mit dem Vario Subtalar System[®] auf die Fehlstellung des Fußes. Insbesondere ein möglicher Korrekturverlust des Fußes nach der im Behandlungskonzept der Arthorise beim juvenilen Knickplattfuß vorgesehenen Entfernung des Implantates sollte weiter untersucht werden. In vorliegender Untersuchung wurde bei nur einem Patienten das Implantat entfernt. Hier zeigte sich kein relevanter Korrekturverlust. Die dauerhafte Wirkung der subtalaren Arthorise, auch nach Entfernung des Implantates wurde bisher nur in einzelnen Arbeiten untersucht (Koning et al. 2009; De Pellegrin et al. 2014; Memeo et al. 2018). Der Beobachtungszeitraum der vorliegenden Untersuchung von maximal drei Jahren und eine kalkulierte Standzeit des Implantates von mindestens drei Jahren lässt diese Betrachtung der Langzeitwirkung der im Jahr 2012 erstmals implantierten Vario-Schraube[®] nicht zu. Dies sollte in folgenden Untersuchungen geschehen.

5 Zusammenfassung

In vorliegender Untersuchung wurde das klinische und radiologische Behandlungsergebnis nach subtalarer Arthrorise mit dem Normed Vario Subtalar System® analysiert und mit publizierten Daten weiterer Implantate verglichen. Es wurde angenommen, dass die subtalare Arthrorise mit dem untersuchten Implantat die juvenile Knickplattfußstellung und die dafür typischen Beschwerden reduziert. Des Weiteren wurde angenommen, dass die Komplikationsrate mit der anderer Implantate vergleichbar ist.

Zur Überprüfung der insgesamt fünf Arbeitshypothesen wurden die in der Aukammklinik Wiesbaden im Zeitraum von Januar 2013 bis Januar 2016 bei der Patientenbehandlung angelegten Akten, Operationsberichte und angefertigten Röntgenbilder von 49 Füßen an 27 Patienten retrospektiv ausgewertet. Dies umfasste die Erhebung der prä- und postoperativen Stellung des Fußes anhand von für die Bewertung des Knickplattfußes validierten Winkeln im standardisierten Röntgenbild in zwei Ebenen. Die Winkelmessungen erfolgten durch zwei unabhängige Untersucher in jeweils zwei voneinander unabhängigen redundanten Untersuchungsgängen. Die Qualität der Winkelmessungen wurde durch statistische Auswertung und Berechnung der *Intrarater*- und *Interrater*-Reliabilität mit der Pearson-Korrelation überprüft und ergab eine hohe Reliabilität der erhobenen Messwerte. Die statistische Auswertung der Winkelgrade bestätigte die präoperativ vorliegende Knickplattfußstellung und die postoperativ korrigierte Stellung der Füße des untersuchten Kollektivs. Das Ausmaß der präoperativen Fehlstellung, die postoperativ korrigierte Stellung des Fußes sowie die durch die subtalare Arthrorise mit dem Normed Vario Subtalar System® hervorgerufene Stellungskorrektur ist mit den Ergebnissen anderer in der Literatur veröffentlichten Untersuchungen über die subtalare Arthrorise mit weiteren verfügbaren Implantaten vergleichbar.

Des Weiteren wurden die Patientenakten nach den prä- und postoperativ geklagten Beschwerden und dem Untersuchungsbefund zu definierten Zeitpunkten des Behandlungsablaufes mit der etablierten *Ankle-Hindfoot-Scale* der American Orthopaedic Foot and Ankle Society retrospektiv ausgewertet. Die Überprüfung der präoperativen Befunde und Beschwerden zeigt die im untersuchten Kollektiv vorliegenden, für den Knickplattfuß typischen Beschwerden und den für den juvenilen Knickplattfuß typischen Untersuchungsbefund. Die Auswertung der zu definierten Zeitpunkten erhobenen *Ankle Hindfoot Scale* zeigt eine signifikante Reduktion der geklagten Beschwerden und eine durch die subtalare Arthrorise signifikante Verbesserung des klinischen Stellungsbefundes der untersuchten Füße. Die aus den Ergebnissen der Untersuchung und Befragung mit der *Ankle Hindfoot Scale* errechneten Werte vor und nach stattgehabter Arthrorise sind mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen für die subtalare Arthrorise mit anderen Implantaten vergleichbar. Zudem wurden die aufgetretenen Komplikationen analysiert und ihre Häufigkeit in Bezug zur Anzahl durchgeführter Operationen gesetzt. Die für die Vario-

Schraube® errechnete Komplikationsrate übersteigt dabei die Komplikationsrate anderer zur subtalaren Arthorise verfügbarer Implantate nicht.

Die vorliegende Untersuchung bestätigt die angenommenen Arbeitshypothesen. Das Vario Subtalar System® ist ein für die subtalare Arthorise bei juvenilem Knickplattfuß geeignetes Implantat. Mit der subtalaren Arthorise können die für den juvenilen Knickplattfuß typische Fehlstellung aufgehoben und damit assoziierte Beschwerden durch das verwendete Implantat signifikant reduziert werden. Das Risiko für das Auftreten von Komplikationen bei Anwendung des Implantates ist nicht größer als bei Verwendung anderer Implantate.

6 Literaturverzeichnis

- Abbara-Czardybon M, Wingenfeld C, Arbab D, Frank D (2013): Möglichkeiten und Grenzen der subtalaren Arthrorise im Kindesalter. *Orthopade* 42, 12–19
- Abbara-Czardybon M, Frank D, Arbab D (2014): Die Talus-Stopp-Schraubenarthrorise beim flexiblen kindlichen Pes planovalgus. *Oper Orthop Traumatol* 26, 625–631
- Addante JB, Chin MW, Loomis JC, Burleigh W, Lucarelli JE (1992): Subtalar joint arthroereisis with Silastic silicone sphere: a retrospective study. *J Foot Surg* 31, 47–51
- Aronson J, Nunley J, Frankovitch K (1983): Lateral talocalcaneal angle in assessment of subtalar valgus: follow-up of seventy Grice-Green arthrodeses. *Foot Ankle* 4, 56–63
- Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, Williams CM (2018): Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res* 11, 21
- Baums MH, Heidrich G, Schultz W, Steckel H, Kahl E, Klinger HM (2006): Autologous chondrocyte transplantation for treating cartilage defects of the talus. *J Bone Joint Surg Am* 88, 303–308
- Beighton P, Solomon L, Soskolne CL (1973): Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis* 32, 413–418
- Bernasconi A, Lintz F, Sadile F (2017): The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Rev* 2, 438–446
- Bernasconi A, Iervolino C, D’Alterio R, Lintz F, Patel S, Sadile F (2020): Midterm assessment of subtalar arthroereisis for correction of flexible flatfeet in children. *Orthop Traumatol Surg Res* 106, 185–191
- Bertani A, Cappello A, Benedetti MG, Simoncini L, Catani F (1999): Flat foot functional evaluation using pattern recognition of ground reaction data. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 14, 484–493
- Blitz NM, Stabile RJ, Giorgini RJ, DiDomenico LA (2010): Flexible pediatric and adolescent pes planovalgus: conservative and surgical treatment options. *Clin Podiatr Med Surg* 27, 59–77
- Bourdet C, Seringe R, Adamsbaum C, Glorion C, Wicart P (2013): Flatfoot in children and adolescents. Analysis of imaging findings and therapeutic implications. *Orthop Traumatol Surg Res* 99, 80–87
- Brancheau SP, Walker KM, Northcutt DR (2012): An analysis of outcomes after use of the Maxwell-Brancheau Arthroereisis implant. *J Foot Ankle Surg* 51, 3–8
- Bresnahan PJ, Chariton JT, Vedpathak A (2013): Extraosseous talotarsal stabilization using HyProCure®: Preliminary clinical outcomes of a prospective case series. *J Foot Ankle Surg* 52, 195–202
- Bresnahan PJ, Juanto MA (2020): Pediatric Flatfeet - A disease entity that demands greater attention and treatment. *Front Pediatr* 8, 19
- Cao L, Miao X, Wu Y, Zhang X, Zhang Q (2017): Therapeutic outcomes of Kalix II in treating juvenile flexible flatfoot. *Orthop Surg* 9, 20–27

- Caravaggi P, Lullini G, Berti L, Giannini S, Leardini A (2018): Functional evaluation of bilateral subtalar arthroereisis for the correction of flexible flatfoot in children: 1-year follow-up. *Gait Posture* 64, 152–158
- Carr JB, Yang S, Leigh AL (2016): Pediatric Pes Planus: A State-of-the-Art Review. *Pediatrics* 137, e20151230
- Carranza-Bencano A, Duque-Gimeno V, Gomez-Arroyo JA, Zurita-Gutierrez M (2000): Giannini's prosthesis in the treatment of juvenile flatfoot. *Foot Ankle Surg* 6, 11–17
- Ceccarini P, Rinonapoli G, Gambaracci G, Bisaccia M, Ceccarini A, Caraffa A (2018): The arthroereisis procedure in adult flexible flatfoot grade IIA due to insufficiency of posterior tibial tendon. *Foot Ankle Surg* 24, 359–364
- Chambers EFS (1946): An operation for the correction of flexible flat feet of adolescents. *West J Surg Obstet Gynecol* 54, 77–86
- Chong DY, Macwilliams BA, Hennessey TA, Teske N, Stevens PM (2015): Prospective comparison of subtalar arthroereisis with lateral column lengthening for painful flatfeet. *J Pediatr Orthop B* 24, 345–353
- Christensen JC, Campbell N, DiNucci K (1996): Closed kinetic chain tarsal mechanics of subtalar joint arthroereisis. *J Am Podiatr Med Assoc* 86, 467–473
- Christman RA: Radiology of the Pediatric Foot and Ankle. In: Butterworth ML, Marcoux JT (Hrsg.): *The Pediatric Foot and Ankle: Diagnosis and Management*. Springer International Publishing, Basel 2019, 43–75
- Cicchinelli LD, Pascual Huerta J, García Carmona FJ, Fernández Morato D (2008): Analysis of gastrocnemius recession and medial column procedures as adjuncts in arthroereisis for the correction of pediatric pes planovalgus: a radiographic retrospective study. *J Foot Ankle Surg* 47, 385–391
- Corell J, Berger N (2005): Erkennung und Behandlung kindlicher Fußfehlformen. *Orthopäde* 34, 1061–1074
- Coughlin MJ (Hrsg.), Saltzman CL, Anderson RB: *Mann's Surgery of the Foot and Ankle*. 9. Auflage; Mosby, Maryland Heights 2013
- Davids JR, Gibson TW, Pugh LI (2005): Quantitative segmental analysis of weight-bearing radiographs of the foot and ankle for children: normal alignment. *J Pediatr Orthop* 25, 769–776
- De Pellegrin M (2005): Die subtalare Schrauben-Arthrorise beim kindlichen Plattfuß. *Orthopäde* 34, 941–954
- De Pellegrin M, Moharamzadeh D, Strobl WM, Biedermann R, Tschauer C, Wirth T (2014): Subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) for the treatment of flexible flatfoot in children. *J Child Orthop* 8, 479–487
- DiGiovanni JE, Smith SD (1976): Normal biomechanics of the adult rearfoot: a radiographic analysis. *J Am Podiatr Assoc* 66, 812–824

- Döderlein L, Multerer C (2012): Fußdeformitäten im Kindesalter – Wann behandeln? Wie behandeln? – Teil 1. Orthop Unfall Up2date 7, 47–61
- Döderlein L, Wenz W, Schneider U: Der Knickplattfuß (Fußdeformitäten). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2002
- El O, Akcali O, Kosay C, Kaner B, Arslan Y, Sagol E, Soylev S, Iyidogan D, Cinar N, Peker O (2006): Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of a screening study. Rheumatol Int 26, 1050–1053
- Evans AM (2008): The flat-footed child - to treat or not to treat: what is the clinician to do? J Am Podiatr Assoc 98, 386–393
- Evans AM, Rome K (2011): A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. Eur J Phys Rehabil Med 47, 69–89
- Fahrmeir L, Heumann C, Künstler R, Pigeot I, Tutz G: Statistik: Der Weg zur Datenanalyse. 8. Auflage; Springer Spektrum, Berlin Heidelberg 2016
- Faldini C, Mazzotti A, Panciera A, Persiani V, Pardo F, Perna F, Giannini S (2018): Patient-perceived outcomes after subtalar arthroereisis with bioabsorbable implants for flexible flatfoot in growing age: a 4-year follow-up study. Eur J Orthop Surg Traumatol 28, 707–712
- Fernández de Retana P, Alvarez F, Bacca G (2012): Is there a role for subtalar arthroereisis in the management of adult acquired flatfoot? Foot Ankle Clin 17, 271–281
- Forg P, Feldman K, Flake E, Green DR (2001): Flake-Austin modification of the STA-Peg arthroereisis: a retrospective study. J Am Podiatr Med Assoc 91, 394–405
- Gentili A, Masih S, Yao L, Seeger LL (1996): Pictorial review: foot axes and angles. Br J Radiol 69, 968–974
- Giannini S, Girolami M, Ceccarelli F (1985): The surgical treatment of infantile flat foot. A new expanding endo-orthotic implant. Ital J Orthop Traumatol 11, 315–322
- Giannini S, Ceccarelli F, Benedetti MG, Catani F, Faldini C (2001): Surgical Treatment of Flexible Flatfoot in Children. J Bone Joint Surg Am 83, 73–79
- Giannini S, Ceccarelli F, Vannini F, Baldi E (2003): Operative treatment of flatfoot with talocalcaneal coalition. Clin Orthop Relat Res 411, 178–187
- Giannini S, Cadossi M, Mazzotti A, Persiani V, Tedesco G, Romagnoli M, Faldini C (2017): Bioabsorbable Calcaneo-Stop Implant for the Treatment of Flexible Flatfoot: A Retrospective Cohort Study at a Minimum Follow-Up of 4 Years. J Foot Ankle Surg 56, 776–782
- Gould N, Moreland M, Alvarez R, Trevino S, Fenwick J (1989): Development of the child's arch. Foot Ankle 9, 241–245
- Grady JF, Dinnon MW (2000): Subtalar arthroereisis in the neurologically normal child. Clin Podiatr Med Surg 17, 443–457
- Green D: Radiology and biomechanical foot types. In: The Podiatry Institute - Update 1998. The Podiatry Institute, Decatur 1998, 292–315

- Green D, Williams Mi, Kim C (2006): Assessing the pros and cons of subtalar implants. *Podiatry Today* 19, 36–46
- Grice DS (1952): An extra-articular arthrodesis of the subastragalar joint for correction of paralytic flat feet in children. *J Bone Joint Surg Am* 34 A, 927–940
- Gutiérrez PR, Lara MH (2005): Giannini prosthesis for flatfoot. *Foot Ankle Int* 26, 918–26
- Gutierrez P, Navarro M, Ojeda M (2013): Radiologic morphology of the calcaneus: a study of radiologic angles in a pediatric population. *J Am Podiatr Med Assoc* 103, 32–35
- Hagen L, Kostakev M, Pape JP, Peterlein CD (2019): Are there benefits of a 2D gait analysis in the evaluation of the subtalar extra-articular screw arthroereisis? Short-term investigation in children. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 63, 73–78
- Halabchi F, Mazaheri R, Mirshahi M, Abbasian L (2013): Pediatric Flexible Flatfoot; Clinical Aspects and Algorithmic Approach. *Iran J Pediatr* 23, 247–260
- Hammer M, Pai D: The Foot and Ankle: Congenital and Developmental Conditions. In: Stein-Wexler R, Wootton-Gorges SL, Ozonoff MB (Hrsg.): *Pediatric Orthopedic Imaging*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014, 463–516
- Haraldsson S (1962): Operative treatment of pes planovalgus staticus juvenilis. Preliminary communication. *Acta Orthop Scand* 32, 492–498
- Hefti F: *Kinderorthopädie in der Praxis*. 3. Auflage; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2015
- Hefti F, Brunner R (1999): Das abgeflachte Fußlängsgewölbe. *Orthopäde* 28, 159–172
- Hintermann B (1999): Die STAR-Sprunggelenkprothese. Kurz- und mittelfristige Erfahrungen. *Orthopäde* 28, 792–803
- Hutchinson ID, Baxter JR, Gilbert S, Hogan MV, Ling J, Saunders SM, Wang H, Kennedy JG (2016): How do hindfoot fusions affect ankle biomechanics: a cadaver model. *Clin Orthop Relat Res* 474, 1008–1016
- Indino C, Villafaña J, D'Ambrosi R, Manzi L, Maccario C, Berjano P, Usulli F (2020): Effectiveness of subtalar arthroereisis with endorthesis for pediatric flexible flat foot: a retrospective cross-sectional study with final follow up at skeletal maturity. *Foot Ankle Surg* 26, 98–104
- Ippolito E, Fraracci L, Farsetti P, De Maio F (2004): Validity of the anteroposterior talocalcaneal angle to assess congenital clubfoot correction. *AJR Am J Roentgenol* 182, 1279–82
- Jani L (1986): Der kindliche Knick-Senk-Fuß. *Orthopäde* 15, 199–204
- Justifer JR, Gustafson PA (2014): The subtalar joint: biomechanics and functional representations in the literature. *Foot (Edinb)* 24, 203–209
- Jay RM, Din N (2013): Correcting pediatric flatfoot with subtalar arthroereisis and gastrocnemius recession: a retrospective study. *Foot Ankle Spec* 6, 101–107
- Jerosch J, Schunck J, Abdel-Aziz H (2009): The stop screw technique—A simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot Ankle Surg* 15, 174–178

- Jia X, Qiang M, Chen Y, Zhang K, Chen S (2019): The influence of selective arthrodesis on three-dimensional range of motion of hindfoot joint: A cadaveric study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 69, 9–15
- Kelikian AS, Sarrafian S: Development of the Foot and Ankle - Chapter 1. In: Kelikian AS (Hrsg.) *Sarrafian's Anatomy of the Foot and Ankle – Third Edition*. 3. Auflage; Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2011, 3–39
- Kellermann P, Roth S, Gion K, Boda K, Tóth K (2011): Calcaneo-stop procedure for paediatric flexible flatfoot. *Arch Orthop Trauma Surg* 131, 1363–1367
- Kelo MJ, Riddle DL (1998): Examination and management of a patient with tarsal coalition. *Phys Ther* 78, 518–525
- Kido M, Ikoma K, Imai K, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T (2013): Load response of the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: in vivo 3D study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 28, 568–573
- Kido M, Ikoma K, Ikeda R, Hosokawa T, Hara Y, Imai K, Maki M, Ohashi S, Mikami Y, Kubo T (2019): Reproducibility of radiographic methods for assessing longitudinal tarsal axes: Part 1: Consecutive case study. *Foot (Edinb)* 40, 1–7
- Kido M, Ikoma K, Ikeda R, Hosokawa T, Hara Y, Imai K, Maki M, Ohashi S, Mikami Y, Kubo T (2020): Reproducibility of radiographic methods for assessing longitudinal tarsal axes Part 2: Severe cavus or flatfoot study. *Foot (Edinb)* 42, 101631
- Kim EK, Kim JS (2016): The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *J Phys Ther Sci* 28, 3136–3139
- Kirby K (2011): Understanding the biomechanics of subtalar joint arthroereisis. *Podiatry Today* 24, 36–45
- 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
- Kite JH (1930): Non-operative treatment of congenital clubfeet: a review of one hundred cases. *Southern Med J* 23, 337–345
- Knapp HP, Tavakoli M, Levitz SJ, Sobel E (1998): Tarsal coalition in an adult with cavovarus feet. *J Am Podiatr Med Assoc* 88, 295–300
- Koning PM, Heesterbeek PJC, de Visser E (2009): Subtalar arthroereisis for pediatric flexible pes planovalgus: fifteen years experience with the cone-shaped implant. *J Am Podiatr Med Assoc* 99, 447–453
- Kostuj T, Schaper K, Baums M, Lieske S (2014): Eine Validierung des AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale für den deutschen Sprachraum. *Fuß Sprunggelenk* 12, 100–106
- Lamm B, Stasko P, Gesheff M, Bhave A (2016): Normal Foot and Ankle Radiographic Angles, Measurements, and Reference Points. *J Foot Ankle Surg* 55, 991–998
- Lanham RHJ (1979): Indications and complications of arthroereisis in hypermobile flatfoot. *J Am Podiatr Assoc* 69, 178–185

- Ledoux WR, Sangeorzan BJ (2004): Clinical biomechanics of the peritalar joint. *Foot Ankle Clin* 9, 663–683
- Lee KM, Chung CY, Park MS, Lee SH, Cho JH, Choi IH (2010): Reliability and validity of radiographic measurements in hindfoot varus and valgus. *J Bone Joint Surg Am* 92, 2319–2327
- Lee KT, Kim JS, Young KW, Kim JY, Choi JH (2006): The results of subtalar arthroereisis for flexible flatfoot of children. *J Korean Foot Ankle Soc* 10, 218–222
- LeLievre J (1970): Current concepts and correction in the valgus foot. *Clin Orthop Relat Res* 70, 43–55
- Lundeen RO (1985): The Smith STA-peg operation for hypermobile pes planovalgus in children. *J Am Podiatr Med Assoc* 75, 177–183
- Mackenzie A, Rome K, Evans A (2012): The efficacy of nonsurgical interventions for pediatric flexible flat foot. *J Pediatr Orthop* 32, 830–834
- Mandarakas M, Pourkazemi F, Sman A, Burns J, Hiller CE (2014): Systematic review of chronic ankle instability in children. *J Foot Ankle Res* 7, 21
- Martinelli N, Bianchi A, Martinkevich P, Sartorelli E, Romeo G, Bonifacini C, Malerba F (2018): Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *J Pediatr Orthop B* 27, 82–87
- Megremis P, Megremis O (2019): Arthroereisis for symptomatic flexible flatfoot deformity in young children: radiological assessment and short-term follow-up. *J Foot Ankle Surg* 58, 904–915
- Memeo A, Verdoni F, Rossi L, Panuccio E, Pedretti L (2019): Flexible juvenile flat foot surgical correction: a comparison between two techniques after ten years' experience. *J Foot Ankle Surg* 58, 203–207
- Metcalfe SA, Bowling FL, Reeves ND (2011): Subtalar joint arthroereisis in the management of pediatric flexible flatfoot: a critical review of the literature. *Foot Ankle Int* 32, 1127–1139
- Miller SJ: The MBA subtalar joint arthroereisis implant in the adult flexible flatfoot: preliminary data and experience. In: *The Podiatry Institute - Update 1998*. The Podiatry Institute, Decatur 1998, 13–18
- Miller SJ: Extraarticular arthroereisis implant in the pediatric flexible flatfoot: a comprehensive view of the evidence. In: *The Podiatry Institute – Update 2009*. The Podiatry Institute, Decatur 2009, 20–35
- Morley AJ (1957): Knock-knee in children. *Br Med J* 2, 976–979
- Morris C, Liabo K, Wright P, Fitzpatrick R (2007): Development of the Oxford ankle foot questionnaire: finding out how children are affected by foot and ankle problems. *Child Care Health Dev* 33, 559–568
- Mosca VS (2010): Flexible flatfoot in children and adolescents. *J Child Orthop* 4, 107–121
- Needleman RL (2006): A surgical approach for flexible flatfeet in adults including a subtalar arthroereisis with the MBA sinus tarsi implant. *Foot Ankle Int* 27, 9–18

- Nelson SC, Haycock DM, Little ER (2004): Flexible flatfoot treatment with arthroereisis: radiographic improvement and child health survey analysis. *J Foot Ankle Surg* 43, 144–155
- Neri T, Barthelemy R, Tourné Y (2017): Radiologic analysis of hindfoot alignment: Comparison of Méary, long axial, and hindfoot alignment views. *Orthop Traumatol Surg Res* 103, 1211–1216
- Nowak HP: Kompendium der Röntgen Einstelltechnik und Röntgenanatomie. ixray.ch GmbH, Rothenthurm 2008
- Onodera AN, Sacco ICN, Morioka EH, Souza PS, de Sá MR, Amadio AC (2008): What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur? *Foot (Edinb)* 18, 142–149
- Ozan F, Doğar F, Gençer K, Koyuncu Ş, Vatanserver F, Duygulu F, Altay T (2015): Symptomatic flexible flatfoot in adults: subtalar arthroereisis. *Ther Clin Risk Manag* 11, 1597–1602
- Papamerkouriou YM, Rajan R, Chaudhry S, Kodumuri P, Evans H, Kerr M (2019): Prospective early clinical, radiological, and kinematic pedobarographic analysis following subtalar arthroereisis for paediatric pes planovalgus. *Cureus* 11, e6309
- Pavone V, Costarella L, Testa G, Conte G, Riccioli M, Sessa G (2013): Calcaneo-stop procedure in the treatment of the juvenile symptomatic flatfoot. *J Foot Ankle Surg* 52, 444–447
- Perlman PR, Dubois P, Siskind V (1996): Validating the process of taking lateral foot x-rays. *J Am Podiatr Med Assoc* 86, 317–321
- Radler C, Egermann M, Riedl K, Ganger R, Grill F (2010): Interobserver reliability of radiographic measurements of contralateral feet of pediatric patients with unilateral clubfoot. *J Bone Joint Surg Am* 92, 2427–2435
- Remvig L, Jensen DV, Ward RC (2007): Epidemiology of general joint hypermobility and basis for the proposed criteria for benign joint hypermobility syndrome: review of the literature. *J Rheumatol* 34, 804–809
- Rose G, Welton E, Marshall T (1985): The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg Br* 67, 71–78
- Roye DPJ, Raimondo RA (2000): Surgical treatment of the child's and adolescent's flexible flatfoot. *Clin Podiatr Med Surg* 17, 515–530
- Ruiz-Picazo D, Jiménez-Ortega P, Doñate-Pérez F, Gaspar-Aparicio N, García-Martín V, Ramírez-Villaescusa J, Losa-Palacios S (2019): Radiographic and functional results following subtalar arthroereisis in pediatric flexible flatfoot. *Adv Orthop* 2019, 5061934
- Sanchez AA, Rathjen KE, Mubarak SJ (1999): Subtalar staple arthroereisis for planovalgus foot deformity in children with neuromuscular disease. *J Pediatr Orthop* 19, 34–38
- Scharer BM, Black BE, Sockrider N (2010): Treatment of painful pediatric flatfoot with Maxwell-Brancheau subtalar arthroereisis implant a retrospective radiographic review. *Foot Ankle Spec* 3, 67–72
- Schmidt C, Parsch K (2003): Der kindliche Knick-Senk-Fuß. *Orthopäde* 32, 253–263

- Schulte E, Schumacher U, Schünke M: PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 3. Auflage; Thieme, Stuttgart 2011
- Scialpi L, Mori C, Mori F, Sperti M, Solarino G (2008): Arthroereisis with Giannini's endo-orthotic implant and Pisani's talocalcaneal arthroereisis. A comparison of surgical methods. *Chir Organi Mov* 92, 61–65
- Sensiba PR, Coffey MJ, Williams NE, Mariscalco M, Laughlin RT (2010): Inter- and intraobserver reliability in the radiographic evaluation of adult flatfoot deformity. *Foot Ankle Int* 31, 141–145
- Shah NS, Needleman RL, Bokhari O, Buzas D (2015): 2013 Subtalar Arthroereisis Survey: The Current Practice Patterns of Members of the AOFAS. *Foot Ankle Spec* 8, 180–185
- Smith SD, Millar EA (1983): Arthroereisis by means of a subtalar polyethylene peg implant for correction of hindfoot pronation in children. *Clin Orthop Relat Res* 15–23
- Smith SD, Wagreich CR (1984): Review of postoperative results of the subtalar arthroereisis operation: a preliminary study. *J Foot Surg* 23, 253–260
- Spitzky H: Die körperliche Erziehung des Kindes. 2. Auflage; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1928
- Staheli LT, Chew DE, Corbett M (1987): The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg Am* 69, 426–428
- Subotnick SI (1974): The subtalar joint lateral extra-articular arthroereisis: a preliminary report. *J Am Podiatry Assoc* 64, 701–711
- Tahmasebi R, Karimi MT, Satvati B, Fatoye F (2015): Evaluation of standing stability in individuals with flatfeet. *Foot Ankle Spec* 8, 168–174
- Tan JHI, Tan SHS, Lim AKS, Hui JH (2021): The outcomes of subtalar arthroereisis in pes planus: a systemic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 141, 761–773
- Tarissi N, Vallée A, Dujardin F, Duparc F, Roussignol X (2014): Reducible valgus flat-foot: assessment of posterior subtalar joint surface displacement by posterior arthroscopy during sinus tarsi expansion screwing. *Orthop Traumatol Surg Res* 100, S395–399
- Tompkins MH, Nigro JS, Mendicino S (1993): The Smith STA-peg: a 7-year retrospective study. *J Foot Ankle Surg* 32, 27–33
- Usuelli FG, Montrasio UA (2012): The calcaneo-stop procedure. *Foot Ankle Clin* 17, 183–194
- van Ooij B, Vos CJS, Saouti R (2012): Arthroereisis of the subtalar joint: an uncommon complication and literature review. *J Foot Ankle Surg* 51, 114–117
- Vanderwilde R, Staheli LT, Chew DE, Malagon V (1988): Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. *J Bone Joint Surg Am* 70, 407–415
- Verheyden F, Vanlommel E, Van Der Bauwhede J, Fabry G, Molenaers G (1997): The sinus tarsi spacer in the operative treatment of flexible flat feet. *Acta Orthop Belg* 63, 305–309
- Viladot A (1992): Surgical treatment of the child's flatfoot. *Clin Orthop Relat Res* 283, 34–38

- Viladot R, Pons M, Alvarez F, Omaña J (2003): Subtalar arthroereisis for posterior tibial tendon dysfunction: a preliminary report. *Foot Ankle Int* 24, 600–606
- Vogler H: Subtalar joint blocking operations for pathological pronation syndromes. In: McGlamery's Comprehensive textbook of foot surgery. Williams & Wilkins, Baltimore 1987, 466–482
- Waizy H, Plaass C, Brandt M, Herold D, Stukenborg-Colsman C, Windhagen H, Claassen L (2013): Extraartikuläre Arthrorise nach Grice/Green versus Kalkaneusverlängerungsosteotomie nach Evans – retrospektiver Vergleich zur Therapie des neurogenen Pes planovalgus. *Orthopäde* 42, 409–417
- Waldt S, Eiber M, Wörtler K: Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie: 75 Tabellen. Thieme, Stuttgart 2011
- Wen J, Liu H, Xiao S, Li X, Fang K, Zeng M, Tang Z, Cao S, Li F (2017): Comparison of mid-term efficacy of spastic flatfoot in ambulant children with cerebral palsy by 2 different methods. *Medicine (Baltimore)* 96, e7044
- Wenger DR, Mauldin D, Speck G, Morgan D, Lieber RL (1989): Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *J Bone Joint Surg Am* 71, 800–810
- Wiesel SW: Operative Techniques in Orthopaedic Surgery. 2. Auflage; Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2015
- Wisbrun W (1932): Neue Gesichtspunkte zum Redressement des angeborenen Klumpfußes und daraus sich ergebende Schlussfolgerungen bezüglich der Ätiologie. *Arch Orthop Unfall-Chir* 31, 451–464
- Wong D, Wang Y, Niu W, Zhang M (2020): Finite element analysis of subtalar joint arthroereisis on adult-acquired flexible flatfoot deformity using customized sinus tarsi implant. *J Orthop Translat* 27, 139–145
- Younger AS, Sawatzky B, Dryden P (2005): Radiographic assessment of adult flatfoot. *Foot Ankle Int* 26, 820–825
- Zaret DI, Myerson MS (2003): Arthroereisis of the subtalar joint. *Foot Ankle Clin* 8, 605–617
- Zhang K, Chen Y, Qiang M, Hao Y (2016): Effects of five hindfoot arthrodeses on foot and ankle motion: Measurements in cadaver specimens. *Sci Rep* 6, 35493
- Zhou B, Tang K, Hardy M (2014): Talocalcaneal coalition combined with flatfoot in children: diagnosis and treatment: a review. *J Orthop Surg Res* 9, 129

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. med. Mike Baums für die hervorragende Betreuung bei der Durchführung der gesamten Dissertationsarbeit. Auch Herrn Privatdozent Dr. med. Florian Freimann danke ich für die sehr gute Co-Betreuung bei der Anfertigung der Arbeit.