



Technische Universität München

Fakultät für Medizin

Retrospektive Vergleichsstudie der Ergebnisse der subtalaren Arthrorise bei idiopathischem und neurogenem Pes planovalgus

Alexander Maximilian Frank

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung eines Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Gabriele Multhoff

Prüfer der Dissertation: apl. Prof Dr. Rainer Burgkart

apl. Prof Dr. Sebastian Siebenlist

Die Dissertation wurde am 16.02.2023 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 13.06.2023 angenommen.

Klinik und Poliklinik für Orthopädie des Universitätsklinikums rechts
der Isar in München

der Technischen Universität München

In Zusammenarbeit mit der Abteilung für Kinderorthopädie der Schön
Klinik München Harlaching

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich bei meinem Promotionsvorhaben unterstützt haben.

Ich möchte meinen besonderen Dank Prof. Dr. Rainer Burgkart und PD Dr. Rolf Burghardt aussprechen für die hervorragende Betreuung meines Promotionsprojektes und die Einführung in wissenschaftliches Arbeiten.

Des Weiteren möchte ich mich bei Dr. Peter Bernius bedanken für das Ermöglichen der Kooperation mit der Schön Klinik München Harlaching und das Bereitstellen der Daten.

Auch gilt mein Dank Natascha Heckel und Kevin Von der Heydt für die fachlichen und organisatorischen Hilfestellungen, die sie leisteten.

Zuletzt gilt besonderer Dank meinen Eltern, ohne deren Unterstützung die Ausarbeitung dieser Dissertation sowie die Absolvierung des Studiums nicht möglich gewesen wären.

Gender Disclaimer

Alle Personenbezeichnungen beziehen sich ungeachtet der Genusform in gleicher Weise auf Personen weiblichen, männlichen und diversen/unbestimmten Geschlechts. Bei geschlechtsspezifischer Ansprache erfolgt eine entsprechende Ausführung.

Abkürzungsverzeichnis

CYMA-Linie = cyma engl. für Karnies

ICP = infantile Zerebralparese

GMFCS = Gross Motor Function Classification System

Lig. = Ligament

Ligg. = Ligamenta

M. = Musculus

Mm. = Musculi

N. = Nervus

TMTB-I-Winkel = Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel

TMT-Index = Talo-Metatarsal-Index

TMT-I-Winkel = Talo-Metatarsale-I-Winkel

Inhaltsverzeichnis

1	Der Fuß – Anatomie	1
1.1	Skelett	1
1.2	Gelenke	1
1.3	Bandapparat	2
1.4	Muskulatur.....	3
1.5	Bindegewebe	3
1.6	Fußgewölbe	4
2	Biomechanik – der belastete Fuß.....	5
3	Pes Planovalgus bei Kindern.....	8
3.1	Definition	8
3.2	Einteilung.....	8
4	Der idiopathische Knick-Senkfuß	10
4.1	Pathophysiologie	10
4.2	Risikofaktoren.....	12
4.3	Epidemiologie	13
4.4	Klinische Untersuchung	13
4.5	Radiologische Untersuchung.....	16
4.5.1	Messbare Winkel am Röntgenbild	17
4.5.2	Seitliches Röntgenbild	17
4.5.2.1	Talo-Metatarsale-I-Winkel (TMT-I-Winkel).....	17
4.5.2.2	Talo-Calcaneärer Winkel	18
4.5.2.3	Calcaneus-Boden-Winkel	19
4.5.3	Anterior-posteriores Röntgenbild	19
4.5.3.1	Talonaviculare coverage angle.....	19
4.5.3.2	Talo-Metatarsale-I-Winkel	20
4.5.3.3	Talo-Calcaneärer Winkel	21
4.5.4	Talo-Metatarsal-Index (TMT-Index) nach Hamel und Kinast.....	21
4.5.5	Weitere Zeichen im Röntgenbild.....	22
4.5.5.1	CYMA-Linie	22
4.5.5.2	Coalitionen	23
4.5.5.3	C-sign.....	23

4.5.6	Computertomografie und Magnetresonanztomografie	24
4.6	Konservative Therapieoptionen	24
4.7	Operative Therapieoptionen	26
4.7.1	Weichteileingriffe	26
4.7.2	Knöcherner Eingriffe	27
5	Der neurogene Knick-Senkfuß.....	29
5.1	Infantile Zerebralparese (ICP).....	29
5.2	Pathophysiologie	30
5.3	Klinische Untersuchung	31
5.4	Radiologische Untersuchung	32
5.4.1	Messbare Winkel am Röntgenbild	32
5.5	Konservative Therapieoptionen	32
5.6	Operative Therapieoptionen	33
5.6.1	Weichteileingriffe	33
5.6.2	Knöcherner Eingriffe	34
6	Subtalare Arthrorise	36
6.1	Behandlungsprinzip	36
6.2	Indikation	37
6.3	Klassifikation von Arthrorise-Implantaten	37
6.4	Calcaneus-Stoppschraube	38
6.5	Intraoperatives Vorgehen.....	39
6.6	Vor- und Nachteile gegenüber anderen Verfahren.....	40
6.7	Komplikationen aus der Literatur	40
6.8	Arthrorise bei neurogenem Knick-Senkfuß	41
7	Fragestellung	43
8	Material und Methodik	44
8.1	Studiendesign	44
8.2	Patientengut	44
8.2.1	Gruppe der idiopathischen Knick-Senkfüße.....	45
8.2.2	Gruppe der neurogenen Knick-Senkfüße.....	45
8.3	Röntgenbilder und ausgemessene Winkel	45
8.4	Statistik	46

9	Ergebnisse	48
9.1	Auswertung der idiopathischen Patientengruppe	48
9.1.1	Geschlecht	48
9.1.2	Alter bei OP	52
9.1.3	Implantatgröße.....	55
9.1.4	Komplikationen	57
9.1.5	Metallentfernung	57
9.1.6	Winkel im seitlichen Strahlengang.....	57
9.1.6.1	Talo-Metatarsale-I-Winkel	57
9.1.6.2	Calcaneus-Boden-Winkel	58
9.1.6.3	Talo-Calcaneärer Winkel	59
9.1.7	Winkel im anterior-posterioren Strahlengang.....	60
9.1.7.1	Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel	60
9.1.7.2	Talonaviculare coverage angle.....	61
9.1.8	Talo-Metatarsal-Index.....	62
9.2	Auswertung der Neurogenen Patientengruppe.....	64
9.2.1	Geschlecht	64
9.2.2	Alter bei OP	68
9.2.3	Implantatgröße.....	71
9.2.4	Komplikationen	72
9.2.5	Metallentfernung	72
9.2.6	Winkel im seitlichen Strahlengang.....	73
9.2.6.1	Talo-Metatarsale-I-Winkel	73
9.2.6.2	Calcaneus-Boden-Winkel	74
9.2.6.3	Talo-Calcaneärer Winkel	75
9.2.7	Winkel im anterior-posterioren Strahlengang.....	76
9.2.7.1	Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel	76
9.2.7.2	Talonaviculare coverage angle.....	77
9.2.8	Talo-Metatarsal-Index.....	78
9.3	Vergleich zwischen den Gruppen	79
9.3.1	Talo-Metatarsal-Index.....	79
9.3.2	Änderung der anderen Winkelmaße.....	80

9.3.3	Komplikationen	84
10	Diskussion.....	85
10.1	Kontrollgruppe idiopathischer Pes planovalgus	85
10.2	Gruppe neurogener Pes planovalgus.....	87
10.3	Vergleich zur Literatur	89
10.4	Vergleich zu anderen operativen Methoden.....	91
10.5	Schwächen dieser Studie	94
10.6	Conclusio.....	95
11	Abbildungsverzeichnis.....	96
12	Literaturverzeichnis.....	98

1 Der Fuß – Anatomie

Der Fuß ist ein entscheidender Teil des Fortbewegungsapparates des Menschen. Im Zuge der Evolution entwickelte sich eine für den bipeden Gang optimierte Struktur des Fußes, welche über viele Lebensjahre eines Menschen reift und sich der Belastung anpasst. Sowohl funktionell als auch anatomisch lässt sich der Fuß in drei Regionen, den Vorfuß, den Mittelfuß und den Rückfuß, untergliedern. (Wirth, 2002)

Die Aufgabe des Fußes ist, die Übertragung des Körpergewichts auf den Untergrund zu gewährleisten und die Beschaffenheit des Bodens zu ertasten und sich entsprechend anzupassen. Als typische Merkmale für die Bipedie gelten die rechtwinkelige Ausrichtung des Fußes im Verhältnis zum Unterschenkel, der Anschluss der Großzehe an die restlichen Zehen und die Ausbildung einer Gewölbstruktur durch Skelett, Bänder und Muskulatur. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

1.1 Skelett

Den proximalsten Anteil des Fußes stellt der Rückfuß, auch Tarsus oder Fußwurzel genannt, dar. Er besteht aus einer proximalen und einer distalen Anreihung von Knochen. Die proximale Reihe der Fußwurzel besteht aus Talus, Calcaneus und Os naviculare, welche auch gemeinsam mit der Malleolengabel die Sprunggelenke bilden. Die Fußwurzel wird nach distal weiter durch die Ossa cuneiformia und das Os cuboideum vervollständigt. (Aumüller et al., 2017)

Der Mittelfuß oder Metatarsus wird von den fünf Ossa metatarsalia gebildet, die an der Lisfranc-Gelenklinie mit dem Rückfuß artikulieren. Die Metatarsalknochen werden in ihrer Nomenklatur von medial nach lateral von I – V durchnummeriert. Plantar des Kopfes des Os metatarsale I befinden sich ein laterales und ein mediales Sesambein, die den M. abductor hallucis, M. adductor hallucis und den M. flexor hallucis brevis in ihrer Funktion unterstützen. (Aumüller et al., 2017; Schünke et al., 2018)

Nach distal schließt sich der Vorfuß an, welcher aus den fünf Digiti pedis besteht, wovon sich die Zehen des 2.-5. Strahles aus jeweils drei Phalangen zusammensetzen. Nur der Hallux zählt lediglich zwei Phalangen. (Aumüller et al., 2017)

1.2 Gelenke

Die größten Gelenke des Fußes stellen die Sprunggelenke dar. Sie werden in ein oberes und ein unteres Sprunggelenk aufgeteilt. Das obere Sprunggelenk ist ein Scharniergelenk, welches für die Plantarflexion und die Dorsalextension des Fußes zuständig ist und wird von der Malleolengabel und dem Talus gebildet. (Aumüller et al., 2017) Das untere Sprunggelenk wird anatomisch in eine vordere und eine hintere Kammer aufgeteilt, funktionell entsprechen sie jedoch einem Gelenk, welches für die Pronation und Supination des Fußes verantwortlich ist. Diese finden jedoch nicht nur im unteren Sprunggelenk, sondern auch in den weiteren

Gelenken des Rück- und Mittelfußes statt. Bewegungen, die allein im unteren Sprunggelenk stattfinden, werden als Inversion und Eversion beschrieben. (Aumüller et al., 2017) Die artikulierenden Knochen der vorderen Kammer sind Talus, Calcaneus und Os naviculare, während die hintere Kammer von Talus und Calcaneus gebildet wird. Die vordere Kammer wird entsprechend der involvierten Knochen Articulatio talocalcaneonavicularis genannt, das hintere untere Sprunggelenk trägt die Bezeichnung Articulatio subtalaris. Getrennt werden die beiden Kammern vom Lig. talocalcaneum interosseum, welches im Sinus tarsi verläuft. (Paulsen und Waschke, 2010)

Nach distal schließen sich den Sprunggelenken im Bereich des Rück- und Mittelfußes weitere Gelenke an. Hierbei handelt es sich um Amphiarthrosen, welche den Bewegungsumfang der Sprunggelenke geringfügig vergrößern und kleine Abfederungs- und Anpassungsbewegungen ermöglichen. In erster Linie lassen sich die Chopart- und Lisfranc-Gelenklinie hervorheben, die bei der Pronation und Supination des Fußes beteiligt sind. Die Chopart-Gelenklinie setzt sich aus zwei Gelenken zusammen, der Articulatio talonavicularis und der Articulatio calcaneocuboidea, und stellt sich als s-förmiger Gelenkspalt dar. In Verbindung zwischen Rück- und Mittelfuß artikulieren die Ossa metatarsalia mit den Ossa cuneiformia und dem Os cuboideum in der Lisfranc-Gelenklinie. Zwischen diesen beiden Linien finden sich weitere Amphiarthrosen der Fußwurzelknochen, welche auch an genannten Funktionen teilhaben. (Paulsen und Waschke, 2010)

Auch die einzelnen Mittelfußknochen stehen miteinander in Verbindung. Diese Articulationes intermetatarsales ermöglichen ein Verwinden des Fußes bei der Supination sowie Pronation. (Aumüller et al., 2017)

Das Verbindungsglied zwischen Mittelfuß und Vorfuß stellen die Zehengrundgelenke dar. Die Articulationes metatarsophalangeales wirken morphologisch wie Kugelgelenke, sind aber durch entsprechende Bandstrukturen in ihrem Bewegungsausmaß auf Extension/Flexion und Abduktion/Adduktion beschränkt. Nach distal schließen sich dann noch die Interphalangealgelenke an, wobei auf Grund der Anzahl an Phalangen die 2.-5. Zehe jeweils 2 dieser Gelenke und der Hallux nur eines aufweist. (Aumüller et al., 2017)

1.3 Bandapparat

Das Fußskelett wird in seiner Form und Funktion durch eine Vielzahl an Bändern unterstützt. So werden die beiden Sprunggelenke nach medial von dem fächerförmigen Lig. collaterale mediale und nach lateral von den drei einzelnen Bändern Lig. talofibulare anterius, Lig. talofibulare posterius und Lig. calcaneofibulare stabilisiert. Im unteren Sprunggelenk hat das Lig. calcaneonaviculare plantare, zu Deutsch auch Pfannenband, besondere Bedeutung, da es nicht nur der Stabilisation dient, sondern auch einen Teil der Gelenkfläche darstellt und oberflächlich teilweise verknorpelt ist. (Paulsen und Waschke, 2010)

Die Einzelgelenke zwischen den Fußwurzelknochen werden durch interossäre Bandzüge stabilisiert und in ihrem Bewegungsumfang eingeschränkt, um vor allem die federnde

Funktion des Fußskeletts zu ermöglichen. Die Chopart-Gelenklinie wird hierbei von dorsal vom Lig. bifurcatum in Position gehalten. Plantar befinden sich noch das Lig. calcaneocuboideum plantare und das Lig. plantare longum als größere Bandstrukturen. Letzterem kommt vor allem in der Aufrechterhaltung des Fußgewölbes Bedeutung zu. (Paulsen und Waschke, 2010)

Die distalen Köpfchen der Mittelfußknochen sind durch das Lig. metatarsale transversum profundum verbunden. Somit wird ein Auseinanderweichen der Ossa metatarsalia bei Belastung verhindert. (Schünke et al., 2018)

1.4 Muskulatur

Die Muskulatur des Fußes lässt sich nach ihrer Lage in vier Gruppen aufteilen, wovon sich eine dorsal am Fußrücken befindet und die anderen drei plantar.

Die dorsale Seite des Fußes umfasst die Extensorengruppe und damit den M. extensor digitorum brevis und den M. extensor hallucis brevis. Plantar wird die Muskulatur von Bindegewebssepten in drei Logen aufgeteilt: die Großzehenloge, die mittlere Loge und die Kleinzehenloge. In der Großzehenloge befinden sich der M. abductor hallucis und der M. flexor hallucis brevis. Die Mittelloge setzt sich zusammen aus dem M. adductor hallucis, dem M. flexor digitorum brevis, dem M. quadratus plantae, den Mm. lumbricales pedis I-IV, den Mm. interossei plantares I-III und den Mm. interossei dorsales pedis I-IV. Am lateralen Fußrand befindet sich noch die Kleinzehenloge, bestehend aus M. abductor digiti minimi, M. flexor digiti minimi brevis und M. opponens digiti minimi. (Schünke et al., 2018)

Darüber hinaus haben noch weitere Muskeln des Unterschenkels ihre Ansatzpunkte am Fußskelett. Zunächst sind dies die langen Extensoren und Flexoren der Zehen, der M. extensor digitorum longus, der M. extensor hallucis longus, der M. flexor digitorum longus und der M. flexor hallucis longus, welche an den jeweiligen Zehen inserieren. Des Weiteren setzt auch die Fibularisgruppe, klinisch oft noch als Peroneusgruppe bezeichnet, am Fuß an. Sie besteht aus dem M. fibularis brevis, welcher am proximalen Ende des Os metatarsale V ansetzt, und dem M. fibularis longus. Die Sehne des letzteren läuft am lateralen Fußrand vorbei, um dann von plantar am Os cuneiforme mediale zu inserieren. Ebenfalls von plantar setzt der M. tibialis posterior am Os naviculare, Os cuneiforme intermediale und laterale und am Os cuboideum an. Sein Gegenüber, der M. tibialis anterior, hat seine Ansatzpunkte dorsal am Os cuneiforme mediale und am Os metatarsale I. Der M. triceps surae setzt über die Achillessehne am Calcaneus an. (Aumüller et al., 2017)

1.5 Bindegewebe

Bei den bindegewebigen Strukturen des Fußes kommt der Plantaraponeurose besondere Bedeutung zu. Hierbei handelt es sich um eine straffe Bindegewebsplatte, die plantar vom Calcaneus zu den Grundgelenken der Zehen zieht und die mehrere Aufgaben erfüllt. Von der Plantaraponeurose ausgehend ziehen Septen Richtung Fußskelett und teilen die plantare

Fußmuskulatur in drei oben genannten Logen. Darüber hinaus ist die Plantaraponeurose entscheidend bei der Aufrichtung der Fußgewölbe beteiligt. (Paulsen und Waschke, 2010)

1.6 Fußgewölbe

Seine charakteristische Form erhält der Fuß durch die Ausbildung des Fußgewölbes. Dieses lässt sich in zwei Ebenen aufteilen, das Längsgewölbe und das Quergewölbe. (Aumüller et al., 2017)

Das Längsgewölbe entsteht durch eine zunehmende Überlagerung der lateralen Skelettanteile von den medialen von distal nach proximal, wodurch der Talus über dem Calcaneus zu liegen kommt (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004; Paulsen und Waschke, 2010). Dies zeigt sich als bogenförmige Wölbung des Fußes zwischen Calcaneus und distalen Köpfchen der Ossa metatarsalia in der Sagittalebene, welche durch plantare Verspannungen aufrechterhalten wird. Diese sind einerseits das Lig. calcaneonaviculare plantare, das Lig. plantare longum und die Plantaraponeurose, andererseits sind auch die Mm. flexor digitorum longus et brevis und die Mm. flexor hallucis longus et brevis an der Aufrichtung des Fußes beteiligt. (Aumüller et al., 2017)

Das Quergewölbe des Fußes ist die Ausbildung eines Bogens in der Frontalebene durch das Os cuneiforme intermediale und das Os cuneiforme laterale. Diese beiden Knochen laufen nach plantar schmäler zu, wodurch sie einen Bogen formen. Wie das Längsgewölbe wird auch das Quergewölbe durch ligamentäre und muskuläre Strukturen aufrechterhalten. Diese sind das Lig. cuboideonaviculare plantare, das Lig. metatarsale transversum profundum, der M. fibularis longus, M. tibialis posterior und M. adductor hallucis. (Aumüller et al., 2017)

Die Ausbildung des Fußgewölbes bewirkt, dass nicht das gesamte Fußskelett mit der Auftrittsfläche in Verbindung steht, sondern theoretisch nur drei Kontaktpunkte bestehen: das Tuber calcanei und die distalen Köpfchen der Ossa metatarsalia I und V. Durch das Fettpolster der Fußsohle und das nach lateral flachere Längsgewölbe wird das Gewicht jedoch weiter verteilt. (Aumüller et al., 2017)

Diese Beschreibung ist der anatomischen Gliederung nachempfunden, in der Hand und Fuß gleich unterteilt sind. Klinisch funktionell wird der Fuß jedoch oft anders aufgegliedert. Hier besteht der Rückfuß nur aus Calcaneus, Talus und die an diese Knochen grenzenden Gelenke. Der Mittelfuß wird in der funktionellen Beschreibung aus dem Os naviculare, dem Os cuboideum und den Ossa cuneiformia gebildet. Der Vorfuß beschreibt demnach die Ossa metatarsalia und die Zehen. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Die folgenden Beschreibungen folgen der klinisch funktionellen Gliederung, da diese eine bessere Vorstellung und Beschreibung der mechanischen Geschehnisse am Fuß verspricht.

2 Biomechanik – der belastete Fuß

Der Fuß ist essenzieller Bestandteil des Fortbewegungsapparates des Menschen. Im Stand und im Gang trägt er das gesamte Gewicht des Menschen und muss unterschiedlichsten Belastungen angepasst sein. Während die Belastung im Gang nochmal ein eigenes weiterläufiges Thema darstellt, ist für die Pathogenese des Pes planovalgus vor allem ein Blick auf die Biomechanik im Stand wichtig.

Geht man von einem beidbeinigen Stand aus, bei dem beide Füße gleichmäßig belastet werden, projiziert sich der Körperschwerpunkt etwa auf Höhe des Os naviculare mittig zwischen die beiden Füße. Der Körperschwerpunkt pendelt dabei unregelmäßig in alle Richtungen in einem Bereich von 3-4mm, wobei diese Bewegungen stärker sind, wenn Paresen der unteren Extremität vorliegen. (Debrunner, 1985)

Das Gewicht, das ein Fuß zu tragen hat, wird vor allem durch die Tibia als axiale Druckbelastung auf das obere Sprunggelenk übertragen. Dem Talus kommt dann eine Verteilerrolle zu, da er diese Kräfte in den Vor- und Rückfuß einleitet. Daher ist die Belastung im unteren Sprunggelenk bereits niedriger als im oberen, wobei die größere Belastung in der hinteren Kammer liegt. (Wirth, 2002) Die Gelenkflächen des unteren Sprunggelenks sind nur kongruent, wenn sich der Fuß in neutraler Position befindet. In dieser Stellung werden die Gelenkflächen ausschließlich durch die Last aneinandergedrückt und müssen nicht durch Bänder stabilisiert werden. Außerhalb dieser Position ist das untere Sprunggelenk inkongruent und der dadurch folgenden Instabilität müssen Bänder und Muskeln entgegenwirken. Im Vergleich zur Neutralnullposition können solche Fußstellungen nur für relativ kurze Zeit aufrechterhalten werden. (Kapandji, 2009)

Unter Betrachtung eines einzelnen Fußes lässt sich die Belastung weiter aufteilen. Bei einem Erwachsenen trägt der Vorfuß etwa 40% und der Rückfuß zirka 60% des Gewichtes. Der Anteil des Gewichtes, den der Mittelfuß auf den Boden überträgt, ist dabei relativ gering und liegt zwischen 0% und 8%. Bei Kindern verhält sich dies anders. Hier überträgt der Mittelfuß ungefähr 20% der Last auf den Boden und der Vorfuß trägt im Vergleich zum Rückfuß etwas mehr des Gewichtes. (Debrunner, 1985)

Damit die Form des Fußes unter der axialen Belastung nicht nachgibt, ist die Verspannung des Längsgewölbes essenziell. Die drei entscheidenden Anteile der Längsverspannung sind das Lig. calcaneonaviculare plantare, das Lig. plantare longum und die Aponeurosis plantaris. (Wirth, 2002) Die Rolle letzterer ist nicht abschließend geklärt. Während einige Autoren sie als wichtigste Kraft in der Aufrechterhaltung der Fußform sehen, sprechen ihr andere eine bedeutende Rolle komplett ab. Letztendlich wird sie aber doch eine Rolle spielen und die anderen Strukturen unterstützen. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

Interessanterweise wird für die Erhaltung der Fußform bei statischer Belastung keine aktive Muskelarbeit benötigt, sofern es sich um eine Normalbelastung handelt. Allein die passiven

Verspannungen des Bindegewebes reichen dafür aus. Erst wenn sich der Fuß an Unebenheiten anpassen muss oder das Gleichgewicht bei Verlagerung des Körperschwerpunktes gehalten werden muss, wird Arbeit der Fuß- und Unterschenkelmuskulatur notwendig. (Debrunner, 1985)

Allerdings würde eine rein bindegewebige Stabilisierung des Körpergewichts zu einer Dehnung dieser Strukturen führen und somit das Fußgewölbe auf Dauer nicht ausreichend gestützt werden. Daraus folgt, dass der Muskulatur bei der Aufrechterhaltung der Fußform auch im Stand eine große Bedeutung zukommen muss. (Kapandji, 2009)

Die Gewichtsbelastungen, die in den Fuß eingeleitet werden, werden über die Kontaktstellen des Fußskelettes mit dem Boden abgeleitet. Im Bereich des Rückfußes übernimmt hauptsächlich der Calcaneus diese Aufgabe. Der Kraftvektor Richtung Vorfuß verläuft durch die Ossa metatarsalia und durchwandert schließlich deren distale Köpfchen. (Wirth, 2002) Betrachtet man die Gewölbekonstruktion des Fußes im Modell, so erkennt man, dass dieses von drei Bögen getragen wird, die sich in Form eines Dreiecks aufspannen. Die Eckpfeiler des Gewölbes sind die drei anatomischen Kontaktpunkte des Fußskeletts mit dem Boden, also der Calcaneus und die distalen Köpfchen der Ossa metatarsalia I und V. Das Ergebnis ist ein vorderer, ein lateraler und ein medialer Bogen. Dieses Modell ist allerdings einfach gehalten und nicht exakt mit den realen Bedingungen vergleichbar, denn den vorderen und lateralen Bogen gibt es nur theoretisch. (Kapandji, 2009) Entgegen der Erwartung aus den anatomischen Gegebenheiten stehen alle fünf Ossa metatarsalia in Kontakt mit dem Boden und übernehmen somit einen Teil der Belastung. (Debrunner, 1985; Wirth, 2002)

Der mediale und der laterale Bogen bilden das Längsgewölbe des Fußes, wobei dem medialen in der Formgebung und Funktion die größere Bedeutung zukommt. Er spannt sich zwischen Calcaneus und Os metatarsale I auf und hat im Os naviculare seinen Scheitelpunkt. Die Verspannung des medialen Längsgewölbes wird bindegewebig von dem Lig. calcaneonaviculare plantare und dem Lig. talocalcaneum interosseum gewährleistet, während muskulär der M. tibialis posterior, der M. fibularis longus, der M. flexor hallucis longus und der M. flexor digitorum longus das Gewölbe stützen. Der M. adductor hallucis sorgt für eine erhöhte Konkavität des Gewölbebogens, indem er die Enden zueinander zieht. Am distalen Ende des Bogens inserieren der M. extensor hallucis longus und der M. tibialis anterior und flachen so das Gewölbe ein wenig ab. (Kapandji, 2009)

Der laterale Anteil des Längsgewölbes ist deutlich flacher und straffer als der mediale. Er steht auf ganzer Länge über Weichteile mit dem Boden in Kontakt, auch wenn nicht zwangsweise Druck übertragen wird. Die Hauptlast der ligamentären Verspannung trägt das Lig. plantare longum. Muskulär tragen der M. fibularis brevis, der M. fibularis longus und der M. abductor digiti minimi ihren Teil zum lateralen Fußgewölbe bei. (Kapandji, 2009)

Der vordere Bogen bildet das Quergewölbe des Fußes und verbindet die distalen Köpfchen der Ossa metatarsalia I und V. Hier wird der Bogen durch die Ligg. metatarsalia und den M. adductor hallucis verspannt. Das Quergewölbe setzt sich nach proximal fort und führt zur

bogenförmigen Anordnung der Ossa cuneiforme und dem Os cuboideum, welche durch den M. fibularis longus stabilisiert wird. Der Bogen, den das Os naviculare und das Os cuboideum bilden, wird vom M. tibialis posterior aufrechterhalten. (Kapandji, 2009)

Unter Belastung senken sich die Bögen des Fußgewölbes ein wenig ab, der laterale und der vordere flachen nahezu vollständig ab. Der Talus weicht leicht nach medial, während der Mittelfuß im Verhältnis zum Rückfuß eine Supinationsstellung einnimmt, wodurch sich zwischen den beiden ein Winkel öffnet. (Kapandji, 2009)

3 Pes Planovalgus bei Kindern

3.1 Definition

Der Pes planovalgus stellt eine Fußfehlstellung dar, die aus zwei Komponenten besteht. Zunächst handelt es sich um einen Plattfuß, da das Fußgewölbe, und hier vor allem das mediale Längsgewölbe, nicht oder kaum ausgebildet ist. Andererseits kommt es zu einer Valgusstellung des Calcaneus im Verhältnis zum Vorfuß, was das optische Bild eines einknickenden Fußes verstärkt. Daraus folgt auch die deutsche Bezeichnung Knick-Senkfuß für diese Pathologie. (Wirth, 2002; Wagner et al., 2013)

Allerdings ist die Nomenklatur nicht immer einheitlich. Der Pes planovalgus beim Jugendlichen wird auch synonym als Adoleszentenplattfuß bezeichnet (Wirth, 2002; Kapandji, 2009). Darüber hinaus finden sich in der Literatur oft Begriffe, die ebenfalls synonym verwendet werden. Diese anderen Begriffe für den Knick-Senkfuß sind zum Beispiel Pes planus oder Plattfuß, Pes valgus oder calcaneovalgus. (Evans und Rome, 2011)

Als Definition kann man nun sagen, dass der Pes planus, also ein Absinken des medialen Längsgewölbes, die Grundpathologie darstellt, der sich weitere Abnormalitäten anschließen. (Dare und Dodwell, 2014) Im Falle des Pes planovalgus besteht die Fehlstellung letztendlich aus einer Valgisierung der Ferse, einer Abflachung des Gewölbes und einer Abduktion des Vorfußes. (Hamel, 2019)

Dies geschieht durch eine Innenrotation und Medialisierung des Talus auf dem Calcaneus, welcher in eine Pronationsstellung gedrängt wird. Dadurch kommt es auch zu einer Verlagerung der Gelenkachse des Subtalargelenks, was eine abnormale biomechanische Beanspruchung auf den Fuß bedeutet. Als Resultat ergibt sich eine Instabilität des Fußes abhängig vom Ausmaß der Fehlstellung. (DeValentine, 1992)

Daraus ergibt sich dann die typische Fußform, die aus mehr besteht als nur einer Depression des Längsgewölbes. Die mediale Kante der Fußsohle erscheint gerade oder konvex, während der laterale Rand oft konkave Verhältnisse aufweist. Der Mittelfuß bricht dabei zusammen und berührt den Boden. Durch die Valgusstellung des Rückfußes wird der Vorfuß in eine Supinationsstellung gedrängt. (Mosca, 2010) Der gesamte Fuß erscheint dabei im Verhältnis zum Unterschenkel lateralisiert. (DeValentine, 1992)

3.2 Einteilung

Im Falle des Knick-Senkfußes unterscheidet man zwischen physiologischem und pathologischem Pes planovalgus. Der physiologische Knick-Senkfuß beschreibt die natürliche Fußform bei Kindern, die sich im Zuge des Wachstums zurückbildet (siehe Kapitel „Der idiopathische Knick-Senkfuß“). In die Kategorie der pathologischen Plattfüße fällt ein Kinderfuß dann, wenn auf Grund der Fehlstellung funktionelle Beschwerden vorliegen, wie zum Beispiel ein Belastungsschmerz oder Rigidität. (Hefti et al., 2015)

Sollte es zu keiner natürlichen Aufrichtung des Fußgewölbes kommen, also kein physiologischer Pes planus vorliegen, so kann dies verschiedene Ursachen haben, wie etwa eine Coalition, eine neurologische oder eine genetische Erkrankung. Ist keine eindeutige Ursache für den persistierenden Pes planovalgus nachweisbar, so spricht man vom idiopathischen Knick-Senk-Fuß. (Wagner et al., 2013)

Liegt ein pathologischer Pes planovalgus vor, kann man diesen in einen flexiblen und einen rigiden Pes planovalgus unterteilen. Die Unterscheidung erfolgt durch die Tatsache, ob der unbelastete Fuß eine normale Form aufweist und ob sich das Gewölbe unter Belastung aktiv und passiv aufrichten lässt. Bei einem flexiblen Plattfuß ist dies der Fall, bei einem rigiden ist die Fußform fixiert und verbleibt in Senkfußstellung. Ein rigider Knick-Senkfuß geht oft auf eine Coalition, also eine feste Verbindung in einem oder mehreren Gelenken des Fußes zurück und bedarf in jedem Fall einer weiteren Abklärung. (Hefti et al., 2015; Wagner et al., 2013) Im Falle des flexiblen Knick-Senkfußes ist eine Unterscheidung in kompensierten und dekompenzierten Pes Planovalgus möglich. Ausschlaggebend ist dabei, ob eine Fehlstellung aktiv über einen Zehenspitzenstand korrigiert werden kann oder nicht. (Hell et al., 2018)

Es gibt verschiedene Ursachen, die einen pathologischen Knick-Senkfuß hervorrufen können. Neben der idiopathischen Gruppe können beispielsweise knöcherne Fehlbildungen, wie ein Talus verticalis oder eine Coalitio, entzündliche Vorgänge, Traumata, Osteonekrosen und Tumore Auslöser sein. Des Weiteren können auch Bindegewebserkrankungen, Muskelerkrankungen, Neuropathien, syndromale Erkrankungen, intraspinale Pathologien oder eine infantile Zerebralparese zu einem Pes planovalgus führen. (Hell et al., 2018)

4 Der idiopathische Knick-Senkfuß

4.1 Pathophysiologie

Zunächst gilt es zu erwähnen, dass alle Kinder mit Plattfüßen geboren werden und sich das Längsgewölbe erst während des ersten Lebensjahrzehnts entwickelt. (Pfeiffer et al., 2006; Carr et al., 2016)

Demzufolge ist in den ersten Lebensjahren der Knick-Senk-Fuß ein physiologischer Zustand bei Kindern. Auf Grund von physiologischer Bandlaxität bricht das mediale Längsgewölbe unter Belastung zusammen. (Dare and Dodwell, 2014) Auch liegt bei Kindern eine stärkere Antetorsion des Schenkelhalses des Femurs vor, sodass die Kinder in einen Einwärtsgang gedrängt werden. Um diesen auszugleichen, kommt es zu einer Außendrehung der Füße, was eine Valgisierung der Ferse und eine Abflachung des Längsgewölbes zur Folge hat. Sowohl die Antetorsion als auch die Laxität der Bänder nimmt mit zunehmendem Alter ab, womit sich das Fußgewölbe aufrichtet. (Hefti et al., 2015; Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Die Straffung der Bänder ist das Resultat einer zunehmenden Quervernetzung der Kollagenfasern, die während des Wachstums auftritt. (Wagner et al., 2013) Auch der zunehmende Kraftzuwachs der stabilisierenden Muskulatur spielt dabei eine Rolle. (Hamel, 2019) Der Prozess der Aufrichtung dauert bis zum Abschluss der Knochenreife des Fußes, welche bei Mädchen durchschnittlich mit 12, bei Jungen mit 14 Jahren erreicht wird. (Evans und Rome, 2011)

In den meisten Fällen kommt es bis zum 11. Lebensjahr des Kindes zu einer regelrechten Aufrichtung der Füße. (Wagner et al., 2013) Nun kommt es aber vor, dass sich das mediale Längsgewölbe nicht oder nur ungenügend ausbildet. Unter Belastung proniert der Calcaneus unter dem Talus, wodurch dieser seine Stütze am Sustentaculum tali verliert. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Als Resultat kommt es zu einer Kippung und Verschiebung des Talus über dem Calcaneus nach medial und kaudal, wodurch das Os naviculare nach lateral subluxiert. Liegt hierfür keine erkennbare direkte Ursache vor, beschreibt diese Skelettfehlstellung den idiopathischen Pes planovalgus. (Hefti et al., 2015)

Der Pes planovalgus zeichnet sich durch zwei zusammenhängende Komponenten aus. Einerseits kommt es zur Eversion des Talus und mit ihm auch des Calcaneus und des Os naviculare. Andererseits kommt es zu einer Destabilisierung des medialen Tarsometatarsal-Strahles. (Hamel und Kinast, 2006) Die Abflachung des medialen Längsgewölbes resultiert aus einer Destabilisierung vor allem in den naviculo-cuneiformen Gelenken. Diese Instabilität hängt in ihrer Entstehung mit dem Rückfußvalgus zusammen, ist aber teilweise auch eine eigene Entität. (Hamel, 2019) Letztlich sind beide Prozesse voneinander abhängig, da eine zunehmende Eversion des Rückfußes den ersten Strahl zusätzlich belastet und umgekehrt ein instabiler medialer Fußstrahl den Rückfuß in Eversionsstellung ausweichen lässt. (Hamel und Kinast, 2006) Betrachtet man den Übergang zwischen Mittel- und Vorfuß, so führt die Fehlstellung dazu, dass der Vorfuß im Verhältnis zum Rückfuß in eine Supinationsstellung gedrängt wird, um den Fuß gerade zu halten. (Vulcano et al., 2016)

Bei der Beurteilung des Fußes gilt zu beachten, dass die Bewegungsachse im unteren Sprunggelenk sehr unterschiedlich sein kann. Dieses Phänomen der individuellen Formgebung im unteren Sprunggelenk wird plantare Dominanz genannt. Sie ist ursächlich dafür, dass die Komponenten des Knick-Senkfußes durchaus sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können. So ist in manchen Fällen die Vorfuß-Abduktion vorherrschend, während in anderen Fällen der Rückfußvalgus dominiert. (Hamel, 2019)

Wenn die Fehlstellung des Fußes über längere Zeit bestehen bleibt, so kann dies Folgen haben, die ihrerseits die Fehlstellung des Pes planovalgus begünstigen und somit eine Korrektur erschweren. So wandert beispielsweise die Achillessehne durch die Rückfußversion mit dem Calcaneus nach lateral, was die Kraftwirkung in den Gelenken verändert und eine Kontraktur des Musculus triceps surae wahrscheinlicher macht. (Vulcano et al., 2016) Ebenso kann es beim Bestehen einer starken Knick-Senkfußstellung sein, dass sich die nicht ossifizierten Knochen an die Fehlbelastung anpassen und ihre Form verändern. Außerdem führt die dauerhafte Fehlstellung zu einer Überdehnung der medialen Bandstrukturen. Durch diese Veränderungen ist es möglich, dass die Fehlstellung auch in höherem Alter verbleibt. (DeValentine, 1992)

Sollte sich der Fuß mit fortschreitendem Alter nicht aufrichten, so handelt es sich in den meisten Fällen um einen sogenannten flexiblen Plattfuß. Dieser unterscheidet sich vom rigiden Plattfuß dadurch, dass das mediale Fußgewölbe unter Belastung verschwindet, sich jedoch aktiv und passiv wiederaufrichten lässt. Im Falle eines rigiden Pes planus dagegen ist dies nicht so, da sich der Fuß auf Grund von festen Verbindungen eines oder mehrerer Gelenke in dieser Position befindet. (Wagner et al., 2013) Ein flexibler Pes planovalgus kann aber auch in eine rigide Form übergehen. Der Grad der Rigidität kann dabei über die Zeit gleichbleiben, sich verschlechtern aber auch verbessern. (Dare and Dodwell, 2014) Grundsätzlich werden persistierende Knick-Senkfüße mit zunehmendem Alter immer rigider. (Vulcano et al., 2016)

Den flexiblen Pes planovalgus kann man weiter unterscheiden in schmerzfrei oder schmerzhaft. (Dare and Dodwell, 2014) In den meisten Fällen ist der Plattfuß bei Kindern schmerzfrei, jedoch kann er zu belastungsabhängigen Schmerzen und früherem Ermüden führen. Letzteres wird durch eine höhere Muskelaktivität hervorgerufen, die der Instabilität des Fußes entgegenwirkt. (Mosca, 2010; Graham, 2013) Auch können funktionelle Störungen auftreten, die sich aus einer Instabilität oder abnormen Mechanik ergeben. Oft sind die Bedenken der Patienten beziehungsweise deren Umfeldes bei schmerzfreien Knick-Senkfüßen rein kosmetischer Natur. (Dare and Dodwell, 2014)

Die typischen Beschwerden bei einem Pes planovalgus sind Schmerzen, Ermüdung, Schwierigkeiten beim Sport oder beim Gehen auf unebenem Terrain und Krämpfe. (Fernández de Retana et al., 2010; Highlander et al., 2011) Auch Rücken- oder Knieschmerzen können aus der Instabilität des Fußes resultieren. (Highlander et al., 2011; Kosashvili et al., 2008)

Zudem liegt die Vermutung nahe, dass im Falle eines schweren Knick-Senkfußes auch eine Therapie angezeigt ist, auch wenn keine Schmerzen im Kindesalter vorhanden sind, da die

Fußfehlstellung im Erwachsenenalter mit nicht unwesentlicher Wahrscheinlichkeit symptomatisch wird, sobald sich die Belastung durch den veränderten Alltag erhöht. (DeValentine, 1992) Dabei zeigte sich jedoch, dass die messbare Höhe des Längsgewölbes bei der Entwicklung von Schmerzen weniger ausschlaggebend ist als die Mobilität in den Gelenken. (Mosca, 2010)

Die Prognose für einen idiopathischen Knick-Senkfuß ist prinzipiell gut. Ein balancierter und flexibler Pes planovalgus macht nur selten Probleme. Treten jedoch Beschwerden auf, hat sich die Therapie an der zugrundeliegenden Pathologie zu orientieren. (Niethard et al., 1997)

4.2 Risikofaktoren

Es gibt mehrere Risikofaktoren, die das Auftreten eines Pes planovalgus begünstigen. Der größte Faktor ist das Alter, was damit zusammenhängt, dass sich das Fußgewölbe erst mit zunehmendem Alter ausbildet. Des Weiteren spielt das Geschlecht eine Rolle, denn bei Jungen tritt vermehrt ein Plattfuß auf. (Chen et al., 2011; Evans und Rome, 2011) Über diesen Risikofaktor herrscht jedoch Uneinigkeit, da es Studien gibt, bei denen kein signifikanter Zusammenhang zum Geschlecht festgestellt werden konnte. (Yin et al., 2018)

Persistiert die Fehlstellung des Pes planovalgus geht dies auf unterschiedliche Faktoren zurück. Der wesentlichste ist eine allgemeine Bandlaxität, die im Vergleich zur physiologischen auch in höherem Alter bestehen bleibt. (Hefti et al., 2015) Im Falle einer erhöhten Bandlaxität ist die Stabilität des Sprunggelenks reduziert, was ebenfalls in einem Knick-Senkfuß resultieren kann. Auch das Gewicht des Patienten und eine Hyperlaxität der Gelenke haben einen Einfluss auf die Form des Fußes. Bei übergewichtigen Kindern muss das Fußgewölbe zu viel Last tragen, was zu einem Einsinken von diesem führt. (Chen et al., 2011; Evans und Rome, 2011) Bei Übergewicht steigt das Risiko eines Pes planovalgus um 27%, bei ausgeprägter Adipositas verdreifacht sich das Risiko sogar. (Pfeiffer et al., 2006) Und mit dem Übergewicht steigt auch das Risiko, dass ein Knick-Senkfuß Beschwerden verursacht. (Sadeghi-Demneh et al., 2016)

Im Falle des Übergewichts liegt die Überlegung nahe, dass ein abgeflachtes Fußgewölbe durch ein größeres Fettpolster simuliert werden könnte, wenn man eine Untersuchung nur mit Fußabdrücken durchführen würde. Allerdings hat sich gezeigt, dass Übergewicht nicht in zusätzlichem Fett an der Fußsohle resultiert und das Gewölbe tatsächlich abgeflacht ist. (Mickle, 2006)

Zusätzliche Faktoren, die eine Rolle spielen sind eine Muskelhypotonie oder eine Verletzung der Sehne des Musculus tibialis posterior. (Hefti et al., 2015) Doch auch weitere nicht genauer erkennbare genetische Faktoren spielen eine Rolle. Kinder, deren Fußgewölbe sich bis zum 10. Lebensjahr nicht ausgebildet hat, haben wohlmöglich nur ein begrenztes Potential, dass sich der Plattfuß auf natürliche Weise korrigiert. Auch haben Kinder, bei denen Plattfüße in der Familie vorkommen, eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass ihr Pes planovalgus persistiert. (Dare and Dodwell, 2014)

4.3 Epidemiologie

Wie bereits beschrieben, ist die Entwicklung des reifen Fußgewölbes ein Prozess, der nach der Geburt stattfindet. Bei der Geburt weisen alle Kinder einen Knick-Senkfuß auf. Danach sinkt die Prävalenz des Pes planovalgus mit zunehmendem Alter laufend. (Gould et al., 1989) Je nach Quelle werden dabei leicht unterschiedliche Angaben gemacht, deren Aussagen sich jedoch decken. Dass die tatsächliche Prävalenz des Pes planovalgus in der Bevölkerung nicht bekannt ist, liegt vorallem daran, dass es keine einheitlichen Diagnosekriterien gibt (Mosca, 2010).

Untersucht man die 18-Monate alten Kinder, so haben 97% einen Pes planovalgus. (Dare and Dodwell, 2014) Die Prävalenz des flexiblen Knick-Senkfußes in der Gruppe der 3- bis 6-jährigen Kinder beträgt laut Pfeiffer et al. 44%, wovon aber weniger als 1% als pathologisch zu werten ist. Bei den 3-jährigen fanden sie eine Prävalenz von 54% und mit 6 Jahren eine von 24%. (Pfeiffer et al., 2006) Chen et al. fanden bei den 3-jährigen bei 68% Knick-Senkfüße und bei den 5-jährigen nur noch bei 37,8%. (Chen et al., 2013) Diese Abnahme resultiert aus dem mit zunehmendem Wachstum sich immer weiter ausbildendem Fußgewölbe. Dabei geht dieser Prozess bei jüngeren Kindern schneller vonstatten und die Entwicklung des Fußgewölbes wird mit zunehmendem Alter langsamer. (Chen et al., 2013; Pfeiffer et al., 2006) Allerdings ist ein ausgebildetes Gewölbe keine Garantie dafür, keinen Pes planovalgus zu entwickeln. Es zeigte sich, dass sich in einigen Fällen die Fußform auch wieder verschlechterte. (Chen et al., 2013)

Auch bei Kindern noch höheren Alters nimmt die Zahl der Knick-Senkfüße weiter ab. Yin et al. fanden in der Gruppe der 6- bis 13-jährigen bei 26% der Kinder Plattfüße. (Yin et al., 2018) Sadeghi-Demneh et al. untersuchten die Altersgruppe der 7- bis 14-jährigen. Hier wiesen noch 17,1% einen Pes planovalgus auf und innerhalb dieser Gruppe reduzierte sich die Häufigkeit mit ansteigendem Alter. Es ist somit auch in dieser Altersgruppe noch ein Korrekturpotenzial zu erwarten. (Sadeghi-Demneh et al., 2015)

Interessanterweise lässt sich eine andere Beobachtung machen, wenn man die unilateralen Knick-Senkfüße betrachtet. Handelt es sich um einen unilateralen Knick-Senkfuß, so scheint dessen Prävalenz nicht vom Alter oder dem Gewicht des Patienten abhängig zu sein. (Chen et al., 2010) Allerdings könnte die Beobachtung, dass der Anteil an unilateralen Knick-Senkfüßen nicht zurückgeht, darauf zurückzuführen sein, dass sich die Längsgewölbe der Füße nicht zwingend parallel entwickeln und somit bilaterale Plattfüße zu einem unilateralen werden und ein unilateraler Pes planovalgus sich zu normalen Füßen entwickelt. (Yin et al., 2018)

4.4 Klinische Untersuchung

Kinder mit flexiblem Knick-Senkfuß haben in den meisten Fällen keine Schmerzen. Oft ist es vor allem das Erscheinungsbild der Füße, welches die Eltern veranlasst, ihre Kinder beim Arzt vorzustellen. (Hefti et al., 2015; Mosca, 2010) Treten dennoch Beschwerden auf, können diese unter anderem durch eine verkürzte Wadenmuskulatur oder eine unphysiologische Beschwielung der Fußsohle ausgelöst werden. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Es sind auch

Schmerzen im Bereich des Schienbeins und des Fußes durch eine Überlastung der Muskulatur möglich, da diese andauernd gegen die Fehlbelastung im unteren Sprunggelenk arbeitet. (DeValentine, 1992) Des Weiteren führt ein dekompenzierter Knick-Senkfuß zu einer Destabilisierung des Kniegelenks im Gang, was zu Problemen führen kann. Außerdem kann die Mehrbelastung des Fußinnenrandes dazu beitragen, dass sich ein Hallux valgus entwickelt. (Niethard et al., 1997)

Später im Erwachsenenalter kann ein persistierender Knick-Senkfuß zu Problemen auf Grund von Arthrose und degenerativen Veränderungen des Weichteilapparates führen. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Auch können Plattfüße bei Kindern zu einem schlechten Gangbild im Erwachsenenalter führen. (Chen et al., 2013) Daraus kann sich dann eine erhöhte Rate an Knie- oder Rückenbeschwerden ergeben. (Kosashvili et al., 2008)

In der Untersuchung gilt es primär einen physiologischen von einem pathologischen Pes planovalgus zu unterscheiden. Die wichtigsten Kriterien hierfür sind die Flexibilität und die Anwesenheit von Schmerzen. Des Weiteren sollte das Alter des Patienten mit einbezogen werden und die Änderung der Fußstellung im Verlauf beobachtet werden. (Dare und Dodwell, 2014)

Zunächst ist es wichtig, eine ausführliche pädiatrische Anamnese zu erheben. Dabei gilt es, die Familien- und Geburtsanamnese zu erfragen und die kindliche Entwicklung des Patienten zu beurteilen. Auf Nebenerkrankungen sollte hier auch ein Augenmerk gelegt werden, um die Ursache für den Knick-Senkfuß zu finden. (Hell et al, 2017) Traumata in der Vergangenheit oder Syndrom-Erkrankungen in der Familie, wie Ehler-Danlos oder Marfan, können ein Hinweis auf eine zugrundeliegende Pathologie sein. (Dare und Dodwell, 2014; Hefti et al., 2015) Aber auch das Vorliegen schmerzhafter idiopathischer Knick-Senkfüße in der Familie sind ein Hinweis, da eine familiäre Komponente vorhanden zu sein scheint. (Carr et al., 2016)

In der erweiterten Anamnese ist es wichtig, Präsenz, Lokalisation, Zeitpunkt und Qualität der Schmerzen zu erfragen. Sollten keine Schmerzen explizit genannt werden können, können sich diese jedoch durch schnelle Ermüdung oder die Vermeidung von belastenden Aktivitäten zeigen (DeValentine, 1992). Es ist außerdem interessant, ab welcher Gehstrecke und bei welchen Belastungen Schmerzen auftreten. (Hell et al., 2018) Insgesamt können jedoch nur in seltenen Fällen Schmerzen aktiv benannt werden und wenn, dann sind sie meist im Bereich des Längsgewölbes lokalisiert. (Hamel, 2019)

Die Untersuchung des Patienten erfolgt teilweise im Sitzen und teilweise im Stehen. So können die Unterschiede zwischen dem belasteten und unbelasteten Fuß ausgemacht werden. (Vulcano et al., 2016)

Zu Beginn der Untersuchung sollte der Patient sich bis zur Hüfte entkleiden. Nur so können die unteren Extremitäten ausreichend beurteilt werden. Ein besonderes Augenmerk gilt den Beinachsen, Beinlängen, Muskelunterschieden, Narben und ähnlichem. (Wirth, 2002) Es empfiehlt sich mit der sitzenden Untersuchung zu beginnen. Hier können Muskulatur, Sehnen

und Neurologie beurteilt werden. Zudem wird die Beweglichkeit in allen Gelenken überprüft und die Form des unbelasteten Fußes beurteilt. (Soomekh und Baravarian, 2006) Ist ein ausgebildetes Fußgewölbe im Sitzen erkennbar, so handelt es sich um einen flexiblen Pes planovalgus. Ist das Gewölbe schon unbelastet nicht vorhanden, so liegt der Verdacht auf eine Rigidität nahe. (Carr et al., 2016)

Es lohnt sich auch einen Blick auf die Schuhe des Patienten zu werfen. Im Zuge einer Fehlbelastung oder Fehlstellung kommt es zu einer unnatürlichen Abnutzung der Schuhsohle und auch anhand der Innensohle können einzelne extreme Belastungspunkte ausgemacht werden. (Wirth, 2002)

Eine ergänzende Untersuchung des Beinachsen ist wichtig, um eventuelle Ursachen für einen Pes planovalgus zu finden. Sowohl die Innen- als auch die Außenrotation der Hüfte und eventuelle Rotationfehlstellungen des Femurs oder der Tibia sollten beurteilt werden. (DeValentine, 1992) Zur klinischen Untersuchung gehören des Weiteren, die Bewegungsgrade der Gelenke der unteren Extremität sowie andere Fehlstellungen dieser zu beurteilen, die für einen vorhandenen Pes planovalgus verantwortlich sein könnten. (Dare und Dodwell, 2014; Wirth, 2002) Bei der Untersuchung der Beweglichkeit der Gelenke kommt der Dorsalflexion im Sprunggelenk eine besondere Bedeutung zu, die sich besonders gut durch den Silfverskiöld-Test prüfen lässt. (Carr et al., 2016) Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass sich das Subtalargelenk in Neutralposition befindet und dass die Untersuchung bei gestrecktem und gebeugtem Knie erfolgt, um Verkürzungen des M. gastrocnemius und des M. soleus differenzieren zu können. (DeValentine, 1992; Dare und Dodwell, 2014; Wirth, 2002) Dabei sollte eine Extension von mindestens 10° möglich sein, ansonsten ist eine relevante Muskelverkürzung vorhanden. (Hamel, 2019) Eine Verkürzung der Wadenmuskulatur oder der Achillessehne kann die Deformität weiter verschlimmern. (Vulcano et al., 2016)

Auch die Bewegungsausmaße im Subtalargelenk und das Verhältnis Rückfuß zu Vorfuß sind zu beurteilen. Kinder mit einer Pes planovalgus Deformität zeigen bei unbelastetem Fuß oft ein erhöhtes Bewegungsausmaß in die Pronation des Rückfußes, die dann unter Belastung zur Fehlstellung führt. (DeValentine, 1992) Um die Supinationsstellung des Vorfußes im Verhältnis zum Rückfuß erkennen zu können, bringt man den unbelasteten Rückfuß passiv in Neutralstellung. Der Vorfuß folgt der Bewegung und stellt sich supiniert dar. (Mosca, 2010)

Bei der Inspektion des Fußes im Stand fällt beim Knick-Senkfuß auf, dass unter Belastung die mediale Aussparung fehlt. Mildere Formen des Pes planovalgus weisen zwar genauso dieses optische Verschwinden des medialen Bogens auf, allerdings wird das Gewicht regelrecht auf den Boden übertragen. Findet sich eine Belastung vor allem am medialen Fuß, handelt es sich um eine schwerere Variante des Knick-Senkfußes. In Extremfällen kann sogar die laterale Belastung ganz wegfallen. (Hefti et al., 2015) Die Inspektion des belasteten Fußes sollte von allen Seiten erfolgen. Das Too-Many-Toes-Zeichen von dorsaler Ansicht gibt einen Hinweis auf das Vorhandensein und das Ausmaß des Pes planovalgus. Den Namen trägt das Zeichen, da

bei Rückfußvalgus im Stand mehr Zehen als die fünfte und die halbe vierte von dorsal sichtbar sind. (Carr et al., 2016)

Der flexible Knick-Senkfuß unterscheidet sich vom rigiden dadurch, dass sich das Fußgewölbe aufrichten lässt. Dies lässt sich in der klinischen Untersuchung feststellen, indem man das Kind bittet, sich in den Zehenspitzenstand zu begeben. Hierbei kommt es zu einer aktiven Varisierung der Ferse und zum Aufrichten des medialen Längsgewölbes. Findet keine Aufrichtung statt, so handelt es sich um einen rigiden Plattfuß. Auch passiv lässt sich der mediale Bogen anheben. Durch Dorsalextension der Großzehe beim belasteten Fuß wird die Plantaraponeurose gespannt und somit das Fußgewölbe aufgerichtet. So lässt sich zeigen, dass es sich um einen flexiblen Plattfuß handelt. (Hefti et al., 2015; Dare und Dodwell, 2014; Wagner et al., 2013)

Im Stand kann außerdem die Stellung des Calcaneus unter Belastung beurteilt werden, da dieser anzeigt, ob das subtalare Gelenk maximal proniert ist. Dafür lässt man den Patienten im lockeren Stand die lateralen Fußränder anheben. Gelingt dies nicht, so ist dies ein Zeichen für eine maximale Pronationsstellung, welche größere pathologische Kräfte im Gelenkkomplex bedeutet. (DeValentine, 1992)

Weitere klinische Zeichen bei der körperlichen Untersuchung sind beispielsweise eine allgemeine Bandlaxität oder eine Verkürzung des M. triceps surae bei schweren Formen des Knick-Senkfußes. Auch zeigt sich bei Beschwerden eine Überlastung des M. tibialis posterior, welche durch eine Druckdolenz entlang des Muskelverlaufs auffällt. (Hefti et al., 2015) Eine Bandlaxität sollte an mehreren Gelenken untersucht werden, um den Verdacht zu erhärten. Eine reine Untersuchung der Füße ist hierfür nicht ausreichend. (Dare und Dodwell, 2014)

Ein weiterer essenzieller Punkt in der klinischen Untersuchung ist die Beobachtung des Gangbildes. Dabei ist neben Qualität, Symmetrie und Kontrolle der Bewegung, auch auf eine assoziierte Co-Morbidität und auf Fehlstellungen zu achten. (Hell et al., 2018) Schwierigkeiten beim Zehenspitzen- beziehungsweise Fersengang können auf ein neurologisches Problem oder eine muskuläre Schwäche hindeuten. Ebenso sollte eine orientierende neurologische Untersuchung der Extremität erfolgen. (Dare und Dodwell, 2014; Wirth, 2002) Fällt bei der Ganguntersuchung des Patienten eine Schwäche der Muskulatur auf, sind die Kraftgrade der einzelnen Muskeln zu überprüfen, um eventuelle Dysbalancen aufzudecken. (Wirth, 2002) Mittels Pedobarographie können bei der Ganguntersuchung abnormale Druckverteilungen erkannt werden, die Rückschlüsse auf die Funktion des Fußes liefern. (Hell et al., 2018)

4.5 Radiologische Untersuchung

Die Indikation zur radiologischen Untersuchung sollte streng gestellt werden, um eine unnötige Strahlenexposition zu vermeiden. Sollte sich der Knick-Senkfuß in der klinischen Untersuchung jedoch als pathologisch herausstellen, können die entsprechenden Röntgenbilder weitere Informationen liefern. (Dare und Dodwell, 2014; Mosca, 2010) Hierbei ist es wichtig, zu beachten, dass Röntgenbilder eines Plattfußes ein zweidimensionales Bild

eines dreidimensionalen Geschehens darstellen. Somit müssen mindestens Bilder in zwei Ebenen angefertigt werden. Mit der anterior-posterioren (a.p.) und der seitlichen Röntgenaufnahme lassen sich alle zugrundeliegenden Veränderungen am Fuß bei einem Pes planovalgus darstellen. (Escobedo et al., 2016) Ein weiterer Grund für die Notwendigkeit den Fuß in mindestens zwei Ebenen darzustellen, ist, dass es individuelle Unterschiede im Verlauf der Bewegungsachse im unteren Sprunggelenk gibt. Daher kann der Pes planovalgus im Röntgenbild unterschiedlich stark imponieren. Während beispielsweise der Knick-Senkfuß in der seitlichen Ansicht sehr auffällig sein kann, kann gleichzeitig die anterior-posteriore (a.p.) Ansicht unauffällig sein. Genauso kann es sich auch umgekehrt verhalten. (Hamel und Kinast, 2006)

Der Patient sollte beim Anfertigen der Röntgenbilder stehen und die Füße voll belasten, da sich im entspannten Beidbeinstand die Destabilisierung des Knick-Senkfuß in seiner maximalen Ausprägung am besten zeigt. (Dare und Dodwell, 2014; Hamel und Kinast, 2006) Es ist hilfreich den Patienten darauf hinzuweisen, bewusst nicht die Deformität auszugleichen, um so Verfälschungen des Ergebnisses entgegenzuwirken. (Ortiz et al., 2018) Für die anterior-posteriore Aufnahme steht der Patient beidfüßig auf der Röntgenkassette, während von kranial mit einer leichten Ventralkippung die Bilder angefertigt werden. Bei der seitlichen Aufnahme gilt vor allem zu beachten, dass die Füße einzeln durchleuchtet werden, da es sonst zu Überlagerungen kommt. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

Das Röntgenbild ist das einzige bildgebende Verfahren, das es ermöglicht, das belastete Fußskelett mehrdimensional darzustellen. (Hamel und Kinast, 2006) Allerdings kann auf Röntgenbildern nur die Situation des Skelettes beurteilt werden, sie liefern keine Informationen über Schmerz, Flexibilität oder Funktion. Das Röntgen bietet also eine Ergänzung zur Diagnosestellung, ersetzt aber den klinischen Eindruck nicht. (Mosca, 2010)

4.5.1 Messbare Winkel am Röntgenbild

Auf den angefertigten Röntgenbildern können verschiedene Winkel ausgemessen werden, um das Ausmaß der Fußfehlstellung zu beurteilen. Dabei gilt es, die ermessenen Werte mit den Normwerten aus der Literatur zu vergleichen. Die Normwertangaben der folgenden Kapitel beziehen sich, wenn nicht anders erwähnt, auf den ausgewachsenen Fuß.

4.5.2 Seitliches Röntgenbild

4.5.2.1 Talo-Metatarsale-I-Winkel (TMT-I-Winkel)

Dieser Winkel im seitlichen Strahlengang wird auch als Meary's Winkel bezeichnet. Er beschreibt den Winkel zwischen der Talusachse und dem Os metatarsale I. Mit diesem Winkel lassen sich die Plantarflexion des Talus und der Einbruch des Längsgewölbes des Fußes in der seitlichen Perspektive zeigen. Die betroffenen Gelenke können das Talonavikulargelenk, das navikular-cuneiforme Gelenk und das cuneiform-metatarsale Gelenk sein. (Escobedo et al., 2016; Hamel und Kinast, 2006)

Beim ausgewachsenen Fuß liegen die Achsen beider Knochen physiologisch auf einer Linie, der Winkel zwischen ihnen beträgt also 0° . Weicht der Winkel zwischen den beiden Achsen davon ab, so spricht man ab einem nach plantar konvexem Winkel von 4° und mehr von einem Pes planus. (Gould, 1982) Im Bereich von 4° bis 15° handelt es sich um einen milden, von 15 - 30° um einen moderaten Knick-Senkfuß, über 30° spricht man von einem schweren Pes planovalgus. (Chi et al., 1999; Escobedo et al., 2016) Auch für Kinder wurden für diesen Winkel Normwerte bestimmt. Bei Neugeborenen findet man einen TMT-I-Winkel von zirka 20° , bei 8-jährigen Kindern sind es noch rund 5° . (Hell et al., 2018)

Dieser Winkel eignet sich auch, um eine Tendenz zu erkennen, ob der Knick-Senkfuß symptomatisch oder asymptomatisch ist oder sein wird. Bei der Grenze von 13° steigt das Risiko für einen symptomatischen Pes planovalgus signifikant. (Pehlivan et al., 2009)

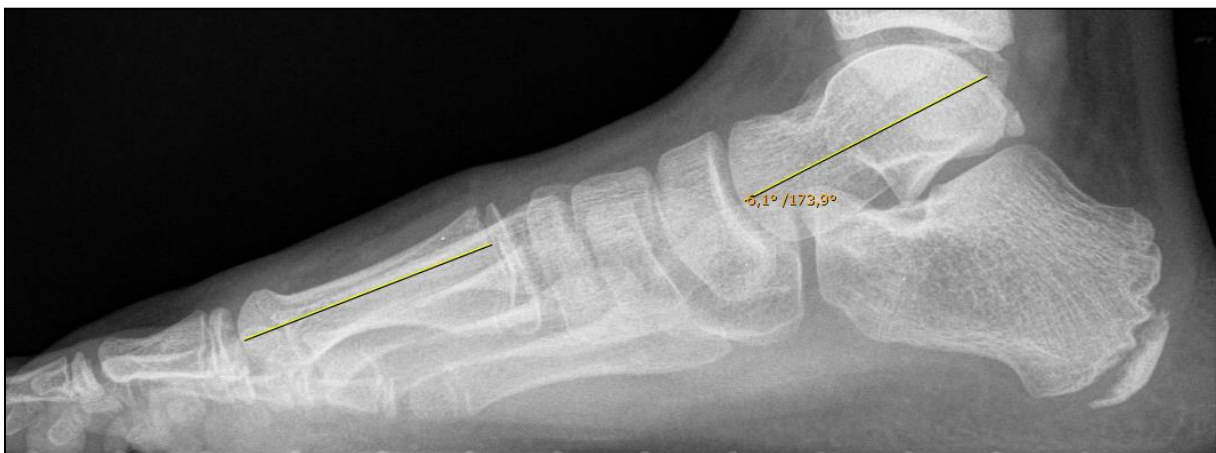


Abbildung 4.1: TMT-I-Winkel.

4.5.2.2 Talo-Calcaneärer Winkel

Hierbei handelt es sich um einen Winkel zwischen Talusachse und Calcaneusachse. Normalerweise liegt dieser Winkel zwischen 25 und 45° . Ist der Winkel größer als 45° , so kann dies auf einen Rückfußvalgus hinweisen. (Escobedo et al., 2016)

Zur Bestimmung dieses Winkels muss man die Achse des Talus und des Calcaneus konstruieren. Die Talusachse legt man durch den Mittelpunkt zweier Linien, welche einmal am Talushals und einmal am Taluskörper angelegt werden. Die Calcaneusachse wird durch eine Linie entlang der Unterkante des Calcaneus dargestellt. Zur Konstruktion dieser verbindet man den Kontaktpunkt des Fersenbeines mit dem Boden und den distalsten Punkt des Calcaneocuboidalgelenks. (Escobedo et al., 2016)

Der Talo-Calcaneare Winkel im seitlichen Strahlengang ist ein sehr zuverlässiges Maß zur Bestimmung der Rückfußstellung. Auch wenn die Achse des Strahlenverlaufs durch den Fuß rotiert wird, so variiert das Messergebnis nur minimal, was diesen Winkel wenig fehleranfällig macht. (Aronson et al., 1983)

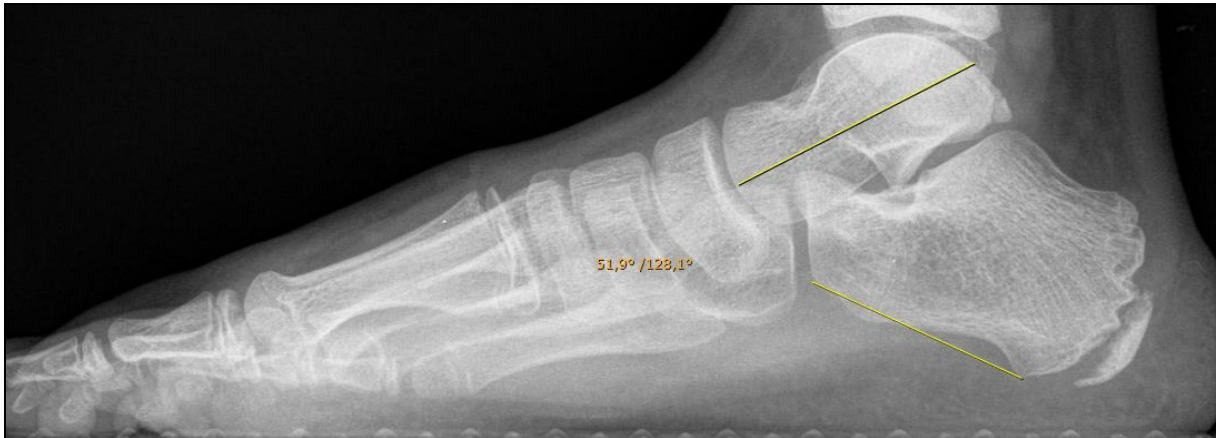


Abbildung 4.2: Talo-Calcaneärer Winkel.

4.5.2.3 Calcaneus-Boden-Winkel

Hiermit lässt dich der Winkel beschreiben, den der Calcaneus mit einer planen Auftrittfläche einschließt. Die Normwerte dieses Winkels bewegen sich um die 20°, wobei Werten von 17-32° keine pathologische Bedeutung zukommt. (Escobedo et al., 2016)



Abbildung 4.3: Calcaneus-Boden-Winkel.

4.5.3 Anterior-posteriores Röntgenbild

4.5.3.1 Talonaviculare coverage angle

Diesen Winkel kann man als talonavikulare Abdeckung übersetzen. Er ist ein Maß für die Verschiebung des Os naviculare gegenüber dem Talus und ist somit ein Zeichen für eine Vorfußabduktion. (Escobedo et al., 2016) Ab einem Winkel von 7° ist der talonaviculare coverage angle ein Hinweis für eine Subluxation des Talus (Chi et al., 1999; Escobedo et al., 2016).

Um diesen Winkel zu konstruieren, zeichnet man eine Linie, welche die Kanten der Gelenkfläche des Talus miteinander verbindet und eine Linie, die die Kanten der navikularen Gelenkfläche miteinander verbindet. Der Winkel, der von diesen beiden eingeschlossen wird, stellt dann die talonavikulare Abdeckung dar. (Escobedo et al., 2016)

Der talonaviculare coverage angle ist am besten dazu geeignet, eine Prognose bezüglich etwaiger Symptome abzugeben. Eine vermehrte Subluxation des Os naviculare bedeutet eine höhere Rate an Beschwerden. (Moraleda und Mubarak, 2011)



Abbildung 4.4: talonaviculare coverage angle.

4.5.3.2 Talo-Metatarsale-I-Winkel

Auch im a.p. Bild lässt sich ein Winkel zwischen Talus und erstem Strahl ausmessen. Wie im seitlichen Röntgenbild sollten die Achsen auf einer Linie liegen. Öffnet sich ein nach medial konvexer Winkel, so ist dies ein Zeichen für einen Pes planus. (Escobedo et al., 2016)

Im Vergleich zum selben Winkel in seitlicher Ansicht, ist der in a.p. Perspektive gemessene weniger gut geeignet die Verhältnisse der Fußstellung wiederzugeben, da die Stellungsverhältnisse an der Lisfranc-Gelenklinie verfälschend miteinfließen. (Hamel und Kinast, 2006)



Abbildung 4.5: Talo-Metatarsale-I-Winkel a.p. [Quelle: (Lee et al., 2013)]

4.5.3.3 Talo-Calcanearer Winkel

Auch dieser Winkel lässt sich sowohl in seitlicher und a.p. Ansicht darstellen. Gebildet wird dieser Winkel in der a.p. Ansicht von der Talusachse und einer Linie, die parallel zum lateralen Rand des Calcaneus läuft. Beim Erwachsenen spricht man bei einem Winkel von 15-30° von normalen Verhältnissen. Ein Winkel von über 30° spricht für einen Rückfußvalgus. Auf Grund von Überlagerungen im Röntgenbild ist dieser Winkel oft nur ungenau zu bestimmen. (Escobedo et al., 2016)



Abbildung 4.6: Talo-Calcanearer Winkel in a.p. [Quelle: (Escobedo et al., 2016)]

4.5.4 **Talo-Metatarsal-Index (TMT-Index) nach Hamel und Kinast**

Um die Fehlstellung eines Pes planovalgus in einer Maßzahl beschreiben zu können, muss sich diese aus Werten zusammensetzen, die aus dem seitlichen und aus dem a.p. Bild entnommen werden. Eine solche Maßzahl stellt der TMT-Index dar, welcher zwei unterschiedliche Winkelmessungen miteinander addiert. (Hamel und Kinast, 2006)

Zunächst benötigt man für die Bildung des Index den Talo-Metatarsale-I-Winkel aus dem seitlichen Röntgenbild. Ist der Winkel in Richtung des Fußrückens offen, wie es beim Pes planovalgus die Regel ist, so erhält die gemessene Gradzahl ein negatives Vorzeichen. (Hamel und Kinast, 2006)

Da der TMT-I-Winkel in der a.p. Ansicht Schwächen hat, wird hier ein anderer, aber ähnlicher Winkel genutzt. Der neue Winkel wird von der Talusachse und einer Linie, welche vom Mittelpunkt des Taluskopfes zur Mitte des Tarsometatarsale-I-Gelenks zieht, gebildet. Dieser Winkel trägt die Bezeichnung des Talus-Metatarsalbasis-I-Winkels (TMTB-I-Winkel). Ist dieser Winkel nach lateral offen, so wird er ebenfalls mit einer negativen Gradzahl beschrieben. (Hamel und Kinast, 2006)



Abbildung 4.7: TMTB-I-Winkel.

Aus beiden Winkeln bildet man den TMT-Index durch Addition. Da die Normbereiche beider Winkel etwa in der gleichen Höhe liegen, fließen beide mit gleicher Gewichtung in den Index ein. (Hamel und Kinast, 2006)

Im Zuge der Entwicklung dieses Index wurden die entsprechenden Winkel an einer Patientengruppe nahe dem Normkollektiv und an unterschiedlichen Patientengruppen mit Pes planovalgus Deformität ausgemessen. Dabei ergab sich im Normkollektiv für beide Winkel ein Wert von ungefähr -10° , was einen Index-Wert von -20° ergibt. Bei Kindern mit diagnostiziertem Pes planovalgus zeigte sich ein TMT-I-Winkel im seitlichen Strahlengang von zirka -29° und ein TMTB-I-Winkel im a.p. Strahlengang von -22° . Daraus ergab sich ein TMT-Index von rund -51° . Dies zeigt, dass dieser Index geeignet ist, um einen Pes planus zu beurteilen. Allerdings handelt es sich bei dem Normkollektiv dieser Arbeit um Hallux-rigidus Patienten, weshalb der Normalwert etwas zu niedrig ausfällt. (Hamel und Kinast, 2006)

Der TMT-Index hat noch weitere Vorteile. So zeigte sich, dass bei der Konstruktion der Winkel eine sehr hohe Intra- und Interobserverreliabilität herrscht. Zusätzlich zur guten Reproduzierbarkeit war der TMT-Index auch besser als andere etablierte Winkelmaße dazu geeignet, Füße mit und ohne Pes planovalgus Deformität voneinander unterscheiden zu können. (Hamel et al., 2021)

4.5.5 Weitere Zeichen im Röntgenbild

4.5.5.1 CYMA-Linie

Die CYMA-Linie beschreibt eine theoretische Doppelkurve entlang des Talonavikular- und des Calcaneocuboidalgelenks, die sowohl in seitlicher als auch in a.p. Ansicht erkennbar ist. Im a.p. Bild entspricht diese Linie dem Chopart-Gelenk. Physiologischerweise erscheint die CYMA-Linie in beiden Perspektiven durchgängig. Kommt es zu einer Rotation des Talus auf dem Calcaneus, wie es beim Pes planovalgus der Fall ist, so erscheint der Calcaneus im Röntgenbild

im Vergleich zum Talus verkürzt, was eine Unterbrechung der CYMA-Linie bewirkt. Somit stellt diese einen Hinweis auf eine Fehlstellung dar. (Escobedo et al., 2016)

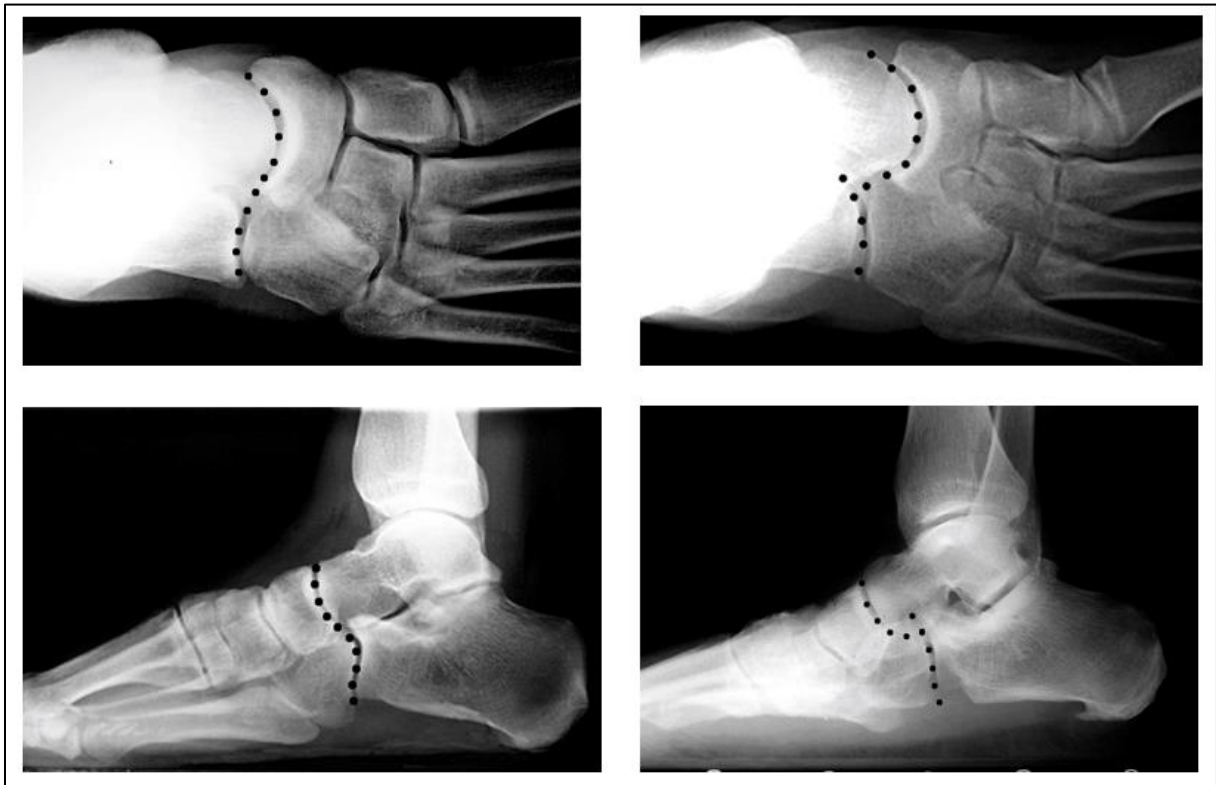


Abbildung 4.8: Darstellung der CYMA-Linie a.p. und seitlich [Quelle: (Escobedo et al., 2016)]

4.5.5.2 Coalitionen

Coalitionen können ursächlich für einen rigiden Pes planovalgus sein. Um diese zu identifizieren, ist die schräge Röntgenaufnahme von außen besonders gut geeignet. (Dare und Dodwell, 2014) Manchmal sind Schrägaufnahmen aus mehreren Winkeln nötig, da Knochenüberlagerungen eine Brückenbildung im Gelenk vortäuschen können. (Hefti et al., 2015)

4.5.5.3 C-sign

Das C-sign ist ein Zeichen, das im seitlichen Röntgenbild am Rückfuß erscheinen kann. Es handelt sich dabei um eine röntgendichtere c-förmige Figur, die von der Trochlea tali zum Sustentaculum tali zieht. Ist das C-sign auf einem Röntgenbild zu sehen, so besteht der dringende Verdacht einer subtalaren Coalition. (Kim, 2002)

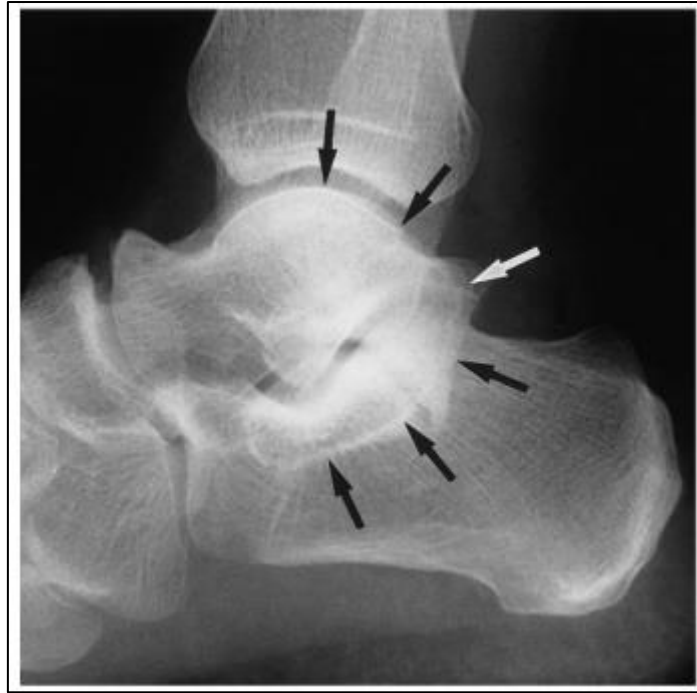


Abbildung 4.9: C-sign [Quelle: (Kim, 2002)]

4.5.6 Computertomografie und Magnetresonanztomografie

CT und MRT sind in den meisten Fällen nicht notwendig, um die Fehlstellung des Fußes einzuschätzen, außer es bestehen ungewöhnliche Ursachen für die Deformität. (Vulcano et al., 2016)

Sollte der klinische Verdacht einer Coalition mit einem konventionellen Röntgen nicht aussagekräftig be- oder widerlegt werden können, so ist die Computertomografie das Mittel der Wahl. Bei fibrösen oder knorpeligen Geschehen sowie bei Problematiken des Sehnenapparates ist die Magnetresonanztomografie die geeignete Bildgebung. (Dare und Dodwell, 2014; Hefti et al., 2015; Vulcano et al., 2016)

4.6 Konservative Therapieoptionen

Schon bei der Frage nach einer geeigneten konservativen Therapie bei flexiblem Pes planus ist die Indikation vorsichtig zu stellen. Milde Formen des Knick-Senkfußes machen in der Regel keine Schmerzen und führen auch nicht zu funktionellen Einschränkungen, auch nicht im späteren Erwachsenenalter. (Hefti et al., 2015; Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Somit benötigt die Mehrheit der flexiblen Knick-Senkfüße keine Therapie. (Dare und Dodwell, 2014) Allerdings muss beachtet werden, dass eine Fußfehlstellung auch zu Schmerzen in anderen Regionen der unteren Extremität oder im Rücken führen kann. Sollte dies der Fall sein und keine andere Ursache auffindbar sein, kann eine Therapie eines unauffälligen Pes planovalgus auch zur Symptomminderung beitragen. (Graham, 2013; Fernández de Retana et al., 2010)

Die wohl einfachste Möglichkeit, einen flexiblen Pes planovalgus zu behandeln, ist Fußgymnastik. Hierzu kann man schon das vermehrte Barfußgehen rechnen, welches die

Fußmuskulatur kräftigt und ein Aufrichten des Fußgewölbes fördert. Hier ist vor allem das Gehen auf unebenen Böden von Vorteil. In Bezug auf die Gymnastik sind der Zehenspitzen- und der Fersengang die sinnvollsten Übungen, damit die Fußmuskulatur trainiert und die Wadenmuskulatur gedehnt wird. (Hefti et al., 2015) Da jedoch die Muskulatur vor allem der dynamischen Stabilisation des Fußes dient, ist es fraglich, wie sehr das Muskeltraining tatsächlich zur Aufrichtung des Fußgewölbes beiträgt. (Niethard et al., 1997) Besteht bereits eine Verkürzung der Wadenmuskulatur, so kann eine Physiotherapie zur Dehnung eben dieser sinnvoll sein. Für Kind und Eltern ist es oft schwierig die entsprechenden Übungen selbstständig durchzuführen, da beim Dehnen der Calcaneus variiert werden muss, um den gewünschten Effekt zu erzielen. (Hefti et al., 2015)

Zusammenfassend ist eine Physiotherapie bei Pes planovalgus indiziert, wenn die Aufrichtung des Fußgewölbes nicht ausreichend oder wenn die Beweglichkeit der Gelenke eingeschränkt ist. Außerdem sind Fehlstellungen der Beinachsen, weichteilige Dysbalancen oder Belastungsschmerzen weitere Indikationen. (Hell et al., 2018)

Eine weitere verbreitete Therapieoption ist die Verordnung von Schuheinlagen. Die Sinnhaftigkeit einer solchen Einlagenversorgung bei flexiblem Pes planovalgus muss jedoch genau abgewogen werden. Ob die Behandlung mit Einlagen wirksam ist, ist wissenschaftlich nicht belegt, beziehungsweise zeigte sich, dass sich mit Einlagen behandelte und unbehandelte Füße im Behandlungsergebnis nicht unterscheiden. (Wenger et al., 1989) Bei physiologischem Knick-Senkfuß und milden Formen des Pes planovalgus kann durch die passive Aufrichtung des medialen Längsgewölbes die Muskulatur geschwächt und somit die Fehlstellung verstärkt werden. Erst bei extremen Fällen oder wenn ein überlasteter M. tibialis posterior geschont werden soll, kann eine Einlagenversorgung sinnvoll sein. (Hefti et al., 2015)

Bei einer Verkürzung der Wadenmuskulatur ist die Dorsalextension im Sprunggelenk eingeschränkt. Eine Versorgung mit Einlagen führt in einem solchen Fall zur Erhöhung des Drucks unter dem Taluskopf, da er sich nicht wie von der Einlage gewünscht, aufrichten kann. Dies kann die Schmerzsymptomatik noch weiter verstärken. (Mosca, 2010)

Allerdings zeigt sich bei schmerzhaftem Knick-Senkfuß, dass eine Einlagenversorgung durchaus die Schmerzen reduzieren kann. Somit bleibt diese konservative Therapieoption pathologischen Plattfüßen und Fällen mit eindeutiger Indikation vorbehalten. (Dare und Dodwell, 2014)

Auch wenn es dazu keine Evidenz gibt, so wird empfohlen, eine Versorgung mit sensomotorischen Einlagen vorzuziehen. Rein mechanische Einlagen haben keinen positiven Effekt und von der Stimulation der sensomotorischen Einlagen erhofft man sich einen besseren Effekt. (Hell et al., 2018)

Letztendlich ist die Evidenz, die die Literatur liefert, zu begrenzt, um eine absolute Aussage darüber zu treffen, welche Intervention die richtige ist und welcher Patient wovon am besten profitiert. (Evans und Rome, 2011)

4.7 Operative Therapieoptionen

Da es in dieser Arbeit in erster Linie um die Korrektur von Plattfüßen durch die subtalare Arthrorise mittels Sinus-tarsi-Spacer geht, wird eben diese operative Option eigens in einem späteren Kapitel behandelt. An dieser Stelle sollen alternative Möglichkeiten vorgestellt werden.

Liegt ein sehr schwerer oder ein pathologischer, aber flexibler Knick-Senkfuß vor, bei dem die konservative Therapie frustan verlief, so kann eine operative Therapie indiziert sein. (Hefti et al., 2015; Yin et al., 2018) Eine schmerzfreie persistierende Knick-Senkfußstellung beim Kind kann, muss aber nicht, im Erwachsenenalter zu Beschwerden führen. Die dafür entscheidenden Ursachen sind nicht abschließend geklärt. Es sollten daher mehrere Faktoren zur Indikationsstellung herangezogen werden, auch weil es durchaus vorkommt, dass präoperative Leistungsminderungen durch den Pes planovalgus erst im Vergleich mit dem postoperativen Ergebnis erkannt und benannt werden können. Weitere Einflussfaktoren auf die Entscheidung zur Operation sind unter anderem das Ausmaß der Fehlstellung oder klinische Zeichen, wie eine Beschwielung untypischer Stellen oder ein abnormer Schuhverschleiß. (Hamel, 2019) Auch kann bis zu einem gewissen Grad der Wunsch nach einer kosmetischen Korrektur berücksichtigt werden, wobei dies nur unter größter Zurückhaltung als Grund für eine Operation herangezogen werden sollte. (Hefti et al., 2015; Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

Auf Grund des natürlichen Korrekturpotenzials des Fußes im Zuge des Wachstums sollte eine OP-Indikation nicht vor dem 8., besser nach dem 10. Lebensjahr gestellt werden. (Hefti et al., 2015; Wagner et al., 2013) Vor dem 4. Lebensjahr ist von einer operativen Therapie abzusehen, da auch die Rezidivgefahr deutlich erhöht ist. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

Das Ziel eines operativen Eingriffes sollte sein, eine möglichst gute Korrektur bei möglichst hohem Gelenkerhalt zu gewährleisten. (Soomekh und Baravarian, 2006)

Bei der operativen Therapie des Pes planovalgus kann man grundsätzlich 3 verschiedene Gruppen unterscheiden: Weichteileingriffe, knöcherne Eingriffe und die Arthrorise. (Vulcano et al, 2016)

4.7.1 Weichteileingriffe

Bei den Weichteileingriffen sind meist der M. triceps surae, beziehungsweise die Achillessehne, die Sehne des M. tibialis posterior oder die Peroneusmuskulatur betroffen. Ziel dieser Operationstechnik ist es, die Balance zwischen diesen Muskelgruppen wiederherzustellen und so die Fußstellung zu korrigieren. (Vulcano et al., 2016) Allerdings sind Weichteileingriffe in den meisten Fällen nicht ausreichend, um einen Pes planovalgus zu korrigieren, können jedoch eine sinnvolle Ergänzung in der operativen Therapie darstellen. (Ortiz et al., 2018)

Sollte eine Verkürzung der Wadenmuskulatur bestehen, so ist eine Option die intramuskuläre Verlängerung nach Baumann. Hierfür eröffnet man die Faszie des M. triceps surae und durchtrennt dann die Aponeurose des Musculus gastrocnemius und des Musculus soleus quer zu deren Faserverlauf. Dies ermöglicht eine anschließende Aufdehnung der Wadenmuskulatur. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Sollte die Kontraktur sehr ausgeprägt sein, kommt auch eine Verlängerung der Achillessehne in Betracht. Hierbei wird die Sehne in ihrem Verlauf mittels Z-Plastik verlängert, um so die gewünschte Entlastung zu erreichen. (DeValentine, 1992) Eine andere Option hierfür sind Rezessionen des M. gastrocnemius. Das kann jedoch zu Problemen beim Gehen führen, die Kraft des Muskels dauerhaft mindern und negative Effekte auf das Knie, den Knöchel oder das subtalare Gelenk haben. Diese Therapieoption sollte daher nur genutzt werden, wenn sie notwendig ist, um einen ausreichenden Bewegungsumfang zu gewährleisten. (Indino et al., 2018)

Eine eher veraltete Option ist die Navikulareumschlingung nach Young. Bei diesem Weichteileingriff wird die Sehne des M. tibialis anterior bis zu ihrem Ansatzpunkt am Os cuneiforme mediale und Os metatarsale I mobilisiert und im Verlauf an das Os naviculare versetzt. Dadurch kommt es zu einer relativen Verkürzung der Sehne, was eine verbesserte Aufrichtung des medialen Längsgewölbes bewirken soll. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Allerdings sind Rezidive bei dieser Operation eher häufig, weshalb sie, wenn überhaupt, nur noch in Kombination mit anderen Eingriffen erfolgt. (Hefti et al., 2015)

4.7.2 Knöcherne Eingriffe

Unter den knöchernen Eingriffen ist ein mögliches Operationsverfahren die varisierende Kalkaneusosteotomie. Hierbei wird die Valgusstellung des Calcaneus durch eine von lateral aufklappende oder von medial zuklappende Osteotomie korrigiert. Allerdings bleibt die Verkipfung des Talus gegenüber des Calcaneus bestehen und nur der Rückfußvalgus wird korrigiert, was einen großen Nachteil dieser Technik darstellt. (Hefti et al., 2015)

Eine der bekanntesten und wohl am meisten genutzten Therapieverfahren ist die Calcaneusverlängerung nach Evans. Es handelt sich dabei um eine Verlängerungsosteotomie, bei der auf Höhe des Calcaneushalses ein keil- oder trapezförmiger Knochenspan eingebracht wird. Dadurch wird der Calcaneus, wie der Name des Eingriffs schon sagt, verlängert und mit ihm auch die laterale Säule des Fußes. Dies spannt die Plantaraponeurose, wodurch das Längsgewölbe aufrichtet wird. Durch die Keilform des Spans wird der Calcaneus auch noch variiert, was die Aufrichtung des medialen Bogens weiter unterstützt. (Hefti et al., 2015; Wirth, 2002) Der Unterschied zwischen der Keil- und der Trapezform ist der Grad der Verlängerung der erreicht wird. Sollte weniger Verlängerung gewünscht sein, wählt man eine Keilform, benötigt man etwas mehr, so ist ein Trapez vorteilhaft. Allerdings scheint die Calcaneusverlängerung nach Evans Vorfußfehlstellungen nicht zu adressieren, wodurch bei ausgeprägten Fällen weitere Eingriffe nötig sind. (DeValentine, 1992)

Eine weitere Osteotomie-Technik ist die Kalkaneusverschiebeosteotomie. Bei dieser Operation wird der Calcaneus durchtrennt und der posteriore Anteil nach medial versetzt. Dadurch kommt es zu einer Varisierung des Rückfußes. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004) Ein Problem dabei ist jedoch, dass zwar der Calcaneus supiniert wird, aber das Subtalargelenk womöglich in Pronationsstellung verbleibt und somit die zugrundeliegende Pathologie nicht behoben wird. (DeValentine, 1992)

Die Arthrodesese beschreibt ein Verfahren, bei dem ein oder mehrere Gelenke dauerhaft versteift werden, um die Fehlstellung zu korrigieren. Im Falle des Knick-Senkfußes handelt es sich bei den Fusionen einzelner Gelenke typischerweise um das Talonavikulargelenk oder das Subtalargelenk. Sollten mehrere Gelenke versteift werden, so ist ein häufiges Verfahren die Triplearthrodesese des Talonavikular-, des Subtalar- und des Calcaneocuboidgelenks. Auch wenn die Arthrodesese die Fehlstellung behebt, so hat sich gezeigt, dass dadurch mehr Last auf den benachbarten Gelenken liegt und dies über längere Zeit zu degenerativen Veränderungen führt. (Dare und Dodwell, 2014; Mosca, 2010) Die verschiedenen Arthrodesesen werden daher vor allem bei rigiden Knick-Senkfüßen genutzt und sollten insgesamt, wenn möglich, vermieden werden. (DeValentine, 1992)

Die calcaneocuboidale Verlängerungsarthrodesese ist eine Variante, bei der keine wichtigen Rückfußgelenke betroffen sind. (Chi et al., 1999) Bei diesem Verfahren wird das calcaneocuboidale Gelenk eröffnet, entknorpelt und aufgespreizt. Anschließend wird ein Knochenspan eingebracht, der das Gelenk versteift, aber auch die laterale Säule des Fußes verlängert und somit das Gewölbe aufrichtet. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

5 Der neurogene Knick-Senkfuß

5.1 Infantile Zerebralparese (ICP)

Bei der infantilen Zerebralparese, welche eine mögliche Ursache für einen neurogenen Knick-Senkfuß darstellen kann, handelt es sich um eine motorische Störung, welche durch eine nicht fortschreitende Läsion des kindlichen Gehirns verursacht wird. Diese Läsion tritt auf Grund unterschiedlichster Ursachen vor, während oder unmittelbar nach der Geburt auf. (Wirth, 2002) Häufig wird diese motorische Störung von weiteren Einschränkungen begleitet, die beispielsweise die Intelligenz, das Verhalten oder das Seh- und Hörvermögen betreffen. (Niethard et al., 1997)

Pränatal führen beispielsweise Missbildungen des Gehirns oder Stoffwechselerkrankungen zur auslösenden Schädigung. Auch Frühgeburten oder Neugeborene mit Mangelerscheinungen weisen ein erhöhtes Risiko für eine Zerebralparese auf. Perinatal sind Hypoxämien, postpartal Schädel-Hirn-Traumata und Tumore bekannte Auslöser. Infektionen können in allen Stadien eine Rolle spielen. (Hefti et al., 2015; Thompson et al., 1991) Auch Drogen- oder Alkoholabusus der Mutter erhöhen das Risiko auf eine infantile Zerebralparese. (Thompson et al., 1991)

Die zentralnervöse Störung macht sich durch Koordinations- und Gleichgewichtsstörungen, abnorme Bewegungs- und Haltungsmuster und Muskeltonusveränderungen bemerkbar. Häufig ist die Muskulatur hierbei primär hypoton und wird im Laufe der Zeit spastisch. (Wirth, 2002; Hefti et al., 2015) Darüber hinaus lässt sich noch eine Kraftminderung bei Zerebralparetikern feststellen und es treten typischerweise sensorische Defizite in den betroffenen Arealen auf. (Hefti et al., 2015)

Die infantile Zerebralparese äußert sich durch das Auftreten einer Spastik, Dyskinesie und Ataxie. Bei dem größten Teil der Patienten von etwa 90% dominiert die Spastik das Krankheitsbild, in 6% der Fälle ist der dyskinetische Aspekt am stärksten ausgeprägt und der Rest zählt zur ataktischen Form. Ausgelöst werden diese Symptome durch Narben, Sklerosen und Zysten im Hirngewebe, die durch die oben genannten Ursachen auftreten können. Die Lokalisation der Pathologie beeinflusst des Weiteren die Ausprägung der Erkrankung. Die dyskinetische Form geht meist auf eine Störung im Bereich der Stammganglien zurück, die ataktische hat in der Regel im Kleinhirn ihren Ursprung und resultiert aus genetischen Ursachen. (Matzen, 2007) Entsprechend sind die klassischen Zeichen einer spastischen Parese eine Verlangsamung der Bewegungen, eine Hyperreflexie, ein erhöhter Muskeltonus, Pyramidenbahnzeichen und abnorme Bewegungs- und Haltungsformen. Abgesehen von Epilepsien kommen kaum weitere Behinderungen vor, allerdings kann bei schweren Fällen eine Minderung der Intelligenz auftreten. (Matzen, 2007)

Die ICP lässt sich nach den verschiedenen Erscheinungsformen klassifizieren. Die wichtigsten Ausprägungen der ICP sind die hypertonen (Spastik) und hypotonen Formen, die Dyskinesien

und die ataktischen Formen. Die hypertone Form lässt sich je nach betroffenem Areal aufteilen. Ist der ganze Körper befallen, so spricht man von einer spastischen Tetraparese. Bei einer Diparese sind sowohl die obere als auch die untere Extremität betroffen, wobei meist die unteren Extremitäten deutlich stärker symptomatisch sind, während die oberen oftmals nur eine feinmotorische Störung aufweisen. Die spastische Hemiparese impliziert eine Halbseitensymptomatik. (Thompson et al., 1991; Niethard et al., 1997)

Nach einer anderen Klassifikation der Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE) spricht man bei erhöhtem Muskeltonus von einer spastischen Zerebralparese, die uni- oder bilateral ausgeprägt sein kann. Ist diese Tonuserhöhung nicht andauernd, sondern variierend, so handelt es sich um eine dyskinetische Parese, die sich je nach Ausprägung weiter in dystonische und choreo-athetoide Formen aufteilt. Die dystonische Form ist gekennzeichnet durch Hypertonie und Hypokinesie, während die choreo-athetoide Variante durch Hypotonie und Hyperkinesie geprägt ist. Tritt eine Hypotonie gemeinsam mit einer Ataxie auf, wird diese als ataktische Parese klassifiziert. (Surveillance of Cerebral Palsy in Europe, 2000)

Diese Klassifikation lässt sich mit dem Gross Motor Function Classification System gut ergänzen. Bei diesem GMFCS-Score handelt es sich um ein System, nach dem die motorischen Fähigkeiten eines Patienten eingeschätzt werden. In Betracht gezogen werden die motorischen Möglichkeiten, die für den Alltag relevant sind und auch praktiziert werden. In diesem System befinden sich 5 Untergruppen, die die Fähigkeiten klassifizieren. Stufe I stellt hierbei die Fortbewegung ohne Einschränkungen dar, während Stufe II schon leichte Einschränkungen bedeutet und vereinzelt Hilfsmittel in Anspruch genommen werden müssen. Zerebralparetiker der Stufe III benötigen dauerhaft Gehhilfen oder vereinzelt einen Rollstuhl. Die Stufen IV und V sind meist an den Rollstuhl gebunden. Hier besteht die Differenzierung darin, ob ein eigenständiges Sitzen ohne Hilfe möglich ist. (Palisano et al., 2007)

Die Gehfähigkeit eines Patienten ist dabei von der Ausprägungsform und -stärke der ICP abhängig. Während ICP Patienten mit einer Diparese oder einer Hemiparese in der Regel laufen können, ist dies bei einer Tetraparese nur möglich, wenn die Behinderung nicht zu schwer ausfällt. (Hefti et al., 2015)

Die Prävalenz der ICP liegt in Industriestaaten bei ungefähr 0,2% und scheint durch die immer besser werdende Versorgung von Risikopatienten weiter abzunehmen. (Hefti et al., 2015)

5.2 Pathophysiologie

Der neurogene Pes planovalgus findet sich häufiger bei Patienten mit spastischer Diplegie und eher bei funktionell stärker eingeschränkten Patienten. (Wirth, 2002) Er stellt für betroffene Patienten oft ein Hindernis für eine schmerzfreie Mobilisation dar. (Bollmann et al., 2015)

Bei Geburt sind die Füße eines Kindes mit infantiler Zerebralparese in der Regel normal. Durch die zentralnervöse Störung entwickeln sich jedoch häufig Fehlformen je nach Art und Ausmaß der Erkrankung. Die häufigste Deformität insgesamt ist dabei der Plattfuß, wobei der Spitzfuß

die häufigste Einzelkomponente darstellt. In der Regel sind diese Fehlstellungen funktionell, können aber in strukturelle Formen übergehen. (Wirth, 2002)

Im Zuge der Spastik kommt es zu einer unnatürlichen Kontraktion der Muskulatur als Antwort auf einen Dehnungsreiz. Dies vermindert das Längenwachstum der betroffenen Muskeln, was wiederum in Kontrakturen resultiert. Mit der Zeit verkürzen sich auch bindegewebige Strukturen, womit das wachsende Skelett weiter beeinflusst wird und flexible Fehlstellungen zu fixierten werden. (Westhoff et al., 2014)

Ursächlich für die Entstehung des Knick-Senkfußes bei infantiler Zerebralparese ist ein Übergewicht der Pronatoren, den Mm. peroneus longus, brevis und tertius, im Vergleich zu den Mm. tibialis anterior und posterior. Dadurch kommt es zu einer Rotationsfehlstellung des Talus nach medial und plantar, einer Pronation des Calcaneus und einer Abduktion des Os naviculare im Verhältnis zum Talus. Der Vorfuß folgt der Fehlstellung des Os naviculare in eine Abduktionsstellung. Dies führt zu einem Einbruch des Längsgewölbes und einer Verkürzung der lateralen Säule. (Wirth, 2002; Hefti et al., 2015) Durch die Valgisierung des Calcaneus nähern sich Ursprung und Ansatz des Musculus triceps surae an, was dazu führt, dass dieser zunehmend kontrakt wird. (Hefti et al., 2015) Diese Verkürzung der Wadenmuskulatur in Kombination mit einer Überdehnung der Bandstrukturen verstärkt die Deformität des neurogenen Knick-Senkfußes noch weiter. Die entstehende Fehlbelastung des Fußes führt letztendlich zu den belastungsabhängigen Beschwerden. (Wirth, 2002; Hefti et al., 2015)

Die Folge der neurogenen Knick-Senkfuß-Deformität ist ein Stabilitätsverlust. Um dies auszugleichen, werden typischerweise die Kniegelenke vermehrt gebeugt und die Beine in Innenrotationsstellung gehalten. Des Weiteren verliert der M. triceps surae seinen Hebelarm, was den Gang weiter erschwert. Erscheint die Fehlstellung nur oder vor allem in Belastung, so spricht man beim neurogenen Knick-Senkfuß von einer funktionellen Deformität. In diesem Fall ist es noch möglich, die anatomischen Verhältnisse passiv wiederherzustellen. Bleibt diese Fehlstellung dauerhaft, so wächst der Fuß in diese Form hinein, wodurch diese fixiert wird. (Hefti et al., 2015)

5.3 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung umfasst neben der Anamnese eine Begutachtung des Stand- und Gangbildes und des unbelasteten Fußes. Somit können die Flexibilität und die muskuläre Situation der Fehlstellung beurteilt werden. (Wirth, 2002)

Die Anamnese sollte Details zur Geburt des Kindes und die Meilensteine der Entwicklung abfragen, um mögliche Ursachen und Ausmaß der Erkrankung abzuschätzen. Auch können verspätet erreichte Meilensteine erste Hinweise auf eine Zerebralparese sein. Wichtig ist noch zu differenzieren, ob die Symptome des Patienten konstant sind oder nicht. Dies wäre bei einer Zerebralparese der Fall, während sich ändernde Ausprägungen für eine fortschreitende ZNS-Erkrankung sprechen würden. (Thompson et al., 1991)

Die körperliche Untersuchung erfolgt mit Fokus auf die betroffenen Extremitäten. Eine genaue Beurteilung der Kontrakturen und Untersuchung der aktiven und passiven Bewegungsausmaße der Gelenke sollte durchgeführt werden. Bei der Untersuchung des Fußes ist die maximale Dorsalextension bei gestrecktem und gebeugtem Knie zu bestimmen, um Kontrakturen des M. gastrocnemius von denen des M. soleus zu unterscheiden. Bei Untersuchung der Rückfußmobilität ist im Falle einer Valgus-Deformität darauf zu achten, ob die Achillessehne, die Peronealmuskulatur oder beide von einer Spastik betroffen sind. Bei der restlichen ganzkörperlichen Untersuchung empfiehlt sich auch eine Einschätzung der Alltagsmobilität. (Thompson et al., 1991)

Die Untersuchung kann durch eine dreidimensionale Ganganalyse ergänzt werden, die es ermöglicht auch komplexe Störungen zu detektieren und sowohl der Planung als auch zur Ergebniskontrolle von konservativen Therapien und Operationen dient. (Westhoff et al., 2014) Diese kann auch durch eine dynamische Elektromyographie erweitert werden, um noch weitere Informationen über die Symptomatik der ICP zu erhalten. (Thompson et al., 1991)

5.4 Radiologische Untersuchung

Wie beim idiopathischen Pes planovalgus erfolgt auch beim neurogenen mit dem seitlichen und dem a.p. Röntgenbild eine Bildgebung in zwei Ebenen. Hierbei sind dieselben Vorgaben zu beachten. (Wirth, 2002)

5.4.1 Messbare Winkel am Röntgenbild

Die radiologische Auswertung des neurogenen Pes planovalgus erfolgt über dieselben Winkel wie beim idiopathischen Knick-Senkfuß. Auch die Abweichungen vom Normwert stellen sich ähnlich dar. In beiden Ebenen ist der Talometatarsale-I-Winkel vergrößert und der Calcaneus-Boden-Winkel ist verringert. In Extremfällen kann dieser sogar negativ sein. (Wirth, 2002)

Um Wiederholungen zu reduzieren wird an dieser Stelle auf eine genaue Ausführung der radiologischen Parameter verzichtet. Diese ist dem Kapitel „4.5 Radiologische Untersuchung“ zu entnehmen.

5.5 Konservative Therapieoptionen

Eine bedeutende Therapieoption stellt beim neurogenen Knick-Senkfuß, wie auch bei anderen neurogenen Fußdeformitäten, die Versorgung mit Unterschenkelorthesen und Innenschuhen dar. Hierbei ist das Ziel, einen verbesserten Bewegungsablauf zu erreichen und die Hypertonie zu senken. Erreichen kann man dies durch Redression der Deformität im Schuh, durch eine Hemmung der pathologisch gesteigerten Reflexe durch eine entsprechende Lagerung des Fußes und durch eine Verbesserung der Körperaufrichtung und Antriebsübertragung der Oberschenkel- und Hüftmuskulatur. (Wirth, 2002) Über die Fixierung des Fußes in Normalstellung soll auch das Fortschreiten der Deformität sowie ein Fehlwachstum minimiert werden. In leichten Fällen kann hierfür auch ein stabilisierender Schuh ausreichend sein.

Wichtig ist, dass das Talonavikulargelenk auch unter Belastung nicht luxiert und somit auch der Calcaneus nicht pronieren kann. Erreicht wird dies durch eine adäquate mediale Stützung des Rückfußes. Zur weiteren Verbesserung der Fußform sollte der Calcaneus varisch in der Einlage zu liegen kommen. Der Vorfuß passt sich über die Korrektur des Längsgewölbes den neuen Gegebenheiten an. (Wirth, 2002; Hefti et al., 2015)

Auch die Kontrakturen betroffener Muskelgruppen lassen sich im Zuge einer Orthesenversorgung behandeln. Hierzu wird die Orthese den vorhandenen Verhältnissen angepasst und die kontrakte Muskulatur über schrittweise Veränderungen sukzessive aufgedehnt und somit verlängert. (Hefti et al., 2015) Beschleunigen lässt sich die Verlängerung des Musculus triceps surae durch die Versorgung mit Redressionsgipsen. Dabei kommt es jedoch regelmäßig zu Muskelatrophien und auf Grund der verzögerten Anpassung der Antagonisten zu Rezidiven. Um letzteres zu verhindern, kann man die Gipsredression in kurzen Abständen wiederholen. (Hefti et al., 2015)

Noch mehr als beim idiopathischen Knick-Senkfuß spielt beim Zerebralparetiker die Physiotherapie eine entscheidende Rolle. Hier gilt es vor allem, kontrakte Muskelverbände zu dehnen und die schwächeren Anteile durch gezielte Übungen zu stärken, um die Balance wiederherzustellen. Insbesondere die Wadenmuskulatur spielt eine wichtige Rolle, da sie sehr häufig betroffen ist und die Fehlstellung verstärkt. Auch eine Behandlung mit Botulinumtoxin zur Tonusreduktion der hypertonen Muskulatur kann sinnvoll sein. (Wirth, 2002)

Durch die Schwäche der Sehne des Musculus tibialis posterior und durch den Peroneusspasmus sind die Effekte der konservativen Therapie beim neurogenen Pes planovalgus eher begrenzt. Bei Schmerzen oder fixierten Deformitäten ist daher eine operative Therapie notwendig. (Wen et al., 2017)

5.6 Operative Therapieoptionen

Sollten die konservativen Therapieansätze frustan verlaufen und die Beschwerden persistieren, so kann man die Indikation zu einer operativen Korrektur stellen. Da die Effektivität eines reinen Weichteileingriffes nicht gut abzuschätzen ist, ist eine Kombination mit einem knöchernen Verfahren anzustreben. (Wirth, 2002)

5.6.1 Weichteileingriffe

Die Verlaufsänderung der Tibialis anterior Sehne nach Young ist auch beim neurogenen Knick-Senkfuß eine Option. Hierbei soll das Talonavikulargelenk stabilisiert werden, indem man den Verlauf der Sehne des Musculus tibialis anterior ändert. Dafür wird der Sehnenansatz nicht abgelöst, sondern die Sehne mobilisiert und nach plantar verlagert. Dort fixiert man sie an einem Kapselkanal. (Wirth, 2002)

Im Falle des neurogenen Pes planovalgus muss im Zuge der operativen Therapie die Wadenmuskulatur und gegebenenfalls die Peronealmuskulatur verlängert werden, um die

Spastik auszugleichen. Bei der intramuskulären Verlängerung nach Baumann wird der Musculus gastrocnemius und falls notwendig der Musculus soleus an der Aponeurose inzidiert und nachfolgend die Muskulatur gedehnt. Vorteil dabei ist, dass die Kraft des Muskels erhalten bleibt und Überkorrekturen selten sind. Jedoch kommt es selten zu Rezidiven, wodurch die Operation wiederholt werden muss. Bei der Verlängerung der Peroneusmuskeln besteht darüber hinaus die Gefahr einer Überkorrektur mit folgender Varusfehlstellung im Rückfuß. (Wirth, 2002)

Eine weitere Methode, um Muskelverkürzungen bei neurogenem Knick-Senkfuß bei infantiler Zerebralparese zu lösen, ist die Ulzibat-Methode, auch Myofasziotomie oder Etappen-Fibrotomie genannt. Dieses Verfahren beruht auf der Erkenntnis, dass sich im Zuge der Spastik Fibrosierungen im Muskelgewebe einstellen, welche dann Schmerzen verursachen und die Verkürzung fixieren, selbst wenn sich der Muskel entspannt. Bei der Myofibrotomie wird mit Hilfe eines speziellen Skalpells unter Schonung des vitalen Muskels diese Fibrosierung perkutan gelöst. Die großen Vorteile dieses Eingriffs sind, dass er im Vergleich zu vielen anderen muskelverlängernden Weichteileingriffen nahezu kein Trauma setzt und es zu keinem Kraftverlust des Muskels kommt. Des Weiteren beschränkt sich die Einsatzmöglichkeit der Myofasziotomie nicht nur auf den Knick-Senkfuß, sondern kann bei jedem betroffenen Muskel angewandt werden. (Nazarkin, 2012)

Die Ulzibat-Methode wird bisher nur an einzelnen Zentren praktiziert, was vor allem an der fehlenden Literatur liegt, die zu diesem Eingriff zur Verfügung steht. (Westhoff et al., 2014)

5.6.2 Knöcherne Eingriffe

Ein beim neurogenen Knick-Senkfuß etabliertes Verfahren ist die Calcaneusverlängerung nach Evans. Wie beim idiopathischen Pes planovalgus wird der Calcaneushals osteotomiert und ein keil- oder trapezförmiger Knochenspan eingebracht. Dadurch wird die Plantaraponeurose gespannt und der Calcaneus variiert. Beides zur Aufrichtung des Längsgewölbes führt. (Wirth, 2002; Hefti et al., 2015) Initial war dieser Eingriff nicht für den neurogenen Knick-Senkfuß vorgesehen, jedoch wurde über gute Ergebnisse bei diesem Patientenkollektiv berichtet. (Rhodes et al., 2017) Dieser Eingriff verliert allerdings seine Wirkung, wenn der Pes planovalgus nicht mehr flexibel ist. (Hefti et al., 2015) Ebenfalls scheint dieses Verfahren bei schwer ausgeprägten Deformitäten an Effektivität zu verlieren. (Zeifang et al., 2006)

Zur gezielten Korrektur der Valgusfehlstellung beim neurogenen Knick-Senkfuß kann auch eine varisierende Calcaneusosteotomie erfolgen. (Wirth, 2002)

Sollte die Fehlstellung des Pes planovalgus bereits fixiert sein, so bietet sich eine calcaneocuboidale Verlängerungsarthrodese an. Dabei wird das Calcaneocuboidalgelenk entknorpelt und anschließend mit einem Knochenspan aufgefüllt. Der Effekt ist ähnlich der Verlängerungsosteotomie nach Evans, da es auch hier zu einer Verlängerung der lateralen Säule kommt. (Wirth, 2002) Bei Instabilitäten im Chopart-Gelenk ist dieses Vorgehen der Calcaneusverlängerung überlegen. (Hefti et al., 2015)

In besonders schweren Fällen kann eine Stabilisierung des Fußes mittels aufwendigerer Arthrodesen bewirkt werden. Die Versteifung von Gelenken soll in diesem Fall auch die weitere Versorgung mit Orthesen überflüssig machen, da ausreichend Stabilität gegeben ist. Beim ausgewachsenen Skelett zeigen sich bei der Chopart-Arthrodesese die besten Ergebnisse. (Hefti et al., 2015)

Eine Arthrodesenvariante, die bei neurogenem Pes planovalgus häufig Anwendung findet, ist die extraartikuläre Arthrodesese nach Grice/Green. Bei diesem Verfahren wird der Sinus tarsi eröffnet und nach anfrischen der Kortikalis der Talusunterseite und der Calcaneusoberfläche ein Knochenspan eingebracht. Dieser Knochenspan wird meist von der Tibia oder der Fibula entnommen. Wird der Span eingebracht, ist darauf zu achten, dass der Fuß in korrigierter Stellung gehalten wird und das knöcherne Implantat ausreichend impaktiert ist. Dieses Verfahren funktioniert ähnlich der Arthrorise, nur dass es zu einer dauerhaften Versteifung im unteren Sprunggelenk kommt. (Imhoff und Zollinger-Kies, 2004)

Die Triplearthrodese und damit die Vollversteifung des unteren Sprunggelenks stellt noch eine weitere Möglichkeit dar, Stabilität zu erreichen. Sie sollte jedoch nur bei schwerer Schmerzsymptomatik in Betracht gezogen werden. Insgesamt sollte auf Arthrodesen wenn möglich verzichtet werden, da sich herausgestellt hat, dass diese zu einer Mehrbelastung und folgenden Degeneration der angrenzenden Gelenke führen. Sollten dennoch die Beschwerden des Patienten persistieren, so ist sie eine Option. (Wirth, 2002)

6 Subtalare Arthrorise

Kinder, deren Fußgewölbe sich bis zum 10. Lebensjahr nicht ausgebildet hat, haben wohlmöglich nur ein begrenztes Potential, dass sich der Plattfuß auf natürliche Weise korrigiert. Auch haben Kinder, bei denen Plattfüße in der Familie vorkommen, eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass ihr Pes planovalgus persistiert. (Dare und Dodwell, 2014) Um die Persistenz der Fehlstellung zu verhindern, bietet die Arthrorise ein einfaches operatives Verfahren zur Korrektur des Pes planovalgus. Durch den sehr geringen Umfang bestehen auch ein sehr geringes Operationsrisiko und eine geringe Komplikationsrate. (Ortiz et al., 2018)

6.1 Behandlungsprinzip

Die Arthrorise beschreibt eine Operationstechnik, bei der ein Implantat in den Sinus tarsi eingebracht wird, um das Bewegungsausmaß im Subtalargelenk einzuschränken. Dies verhindert ein Einbrechen des Rückfußes und des medialen Längsgewölbes. (Dare und Dodwell, 2014) Der Kollaps dieses Raumes wird verhindert, wenn das Implantat guten Halt im Sinus tarsi findet. (Evans und Rome, 2011) Die Blockade im Rückfuß unterbindet eine Eversion des Talus durch eine Einschränkung der subtalaren Beweglichkeit. (Mosca, 2010) Diese hat aber keinen negativen Einfluss auf die Biomechanik im unteren Sprunggelenk und blockiert auch nicht die mechanische Kette des Fußes. Bei der Arthrorise wird die Fehlstellung korrigiert, ohne die Physiologie des Fußes zu stören. (Ortiz et al., 2018)

Es gibt auf dem Gebiet der Arthrorise verschiedene Methoden. Eine häufig genutzte Methode, um den gewünschten Effekt zu erzielen, ist die Implantation eines Spacers in den Sinus tarsi. Eine andere Variante ersetzt den Spacer mit einer Schraube, welche über den Sinus tarsi in den Calcaneus eingebracht wird und somit die Wirkung eines Spacers imitiert. Bei einer dritten neueren Variante wird ein Platzhalter nur in den Tarsalkanal eingebracht. (Ortiz et al., 2018) Für alle Methoden gibt es auch unterschiedlichste Implantatformen und -materialien, allerdings besteht keine Einigkeit darüber welches nun die ideale Lösung ist. (Dare und Dodwell, 2014) Dies kommt auch daher, dass Langzeitergebnisse zur Arthrorise in der Literatur kaum vorhanden sind. (Wagner et al., 2013; Mosca, 2010)



Abbildung 6.1: Sinus tarsi Spacer der Firma Tornier®

Ein Vorteil der Arthrorise ist, dass das Implantat zu einer Neuausrichtung des Fußskelettes während des Wachstums führt und somit der ausgewachsene Fuß in dieser Form verbleibt. (Evans und Rome, 2011) Es werden mehrere Effekte diskutiert, die ein Implantat im Sinus tarsi auf die Fußform hat. Zunächst scheint das Implantat im biomechanischen Ursprung der Deformität, nämlich dem subtalaren Gelenk, zu wirken. Außerdem gibt es wohl in diesem Bereich besonders viele Mechanorezeptoren, die auf das Implantat reagieren und eine Umstrukturierung bewirken, die auch anhält, wenn dieses entfernt wird. (Ortiz et al., 2018) Bei zuletzt genanntem handelt es sich allerdings um eine Hypothese, die nach wie vor nicht bewiesen ist. So bleibt auch die Frage, wie es tatsächlich zur Umstrukturierung der Fußform kommt, unbeantwortet. (Bernasconi et al., 2017) Auch wird diskutiert, ob der positive Effekt der subtalaren Arthrorise auf die Fußform aus einer verbesserten Propriozeption und vor allem dem mechanischen Impingement resultiert. (Vulcano et al., 2016)

Letztendlich findet aber eine Umstrukturierung des Fußskelettes statt und bei den meisten Knick-Senkfüßen ist die Arthrorise auch ausreichend, um die Fußstellung zu korrigieren. (Vulcano et al., 2016)

6.2 Indikation

Ein operativer Eingriff kommt dann in Betracht, wenn der Patient trotz konservativer Therapie nicht schmerzfrei am Alltag teilhaben kann. Dazu gehört auch sportliche Aktivität oder das Tragen von normalem Schuhwerk. (Ortiz et al., 2018)

Bei der Behandlung des Patienten mittels Arthrorise spielt das Alter eine entscheidende Rolle. Ein oft empfohlener Bereich ist der zwischen 8 und 14 Jahren. (Ortiz et al., 2018) In diesem Alter besteht noch ausreichend Wachstums- und Korrekturpotential, sodass sich der Fuß an das Implantat anpassen kann. Andererseits ist die Entwicklung schon so weit fortgeschritten, dass eine spontane Korrektur des Fußgewölbes relativ unwahrscheinlich ist. (Hefti et al., 2015) Jedoch zeigen sich bei der subtalaren Arthrorise auch bei Erwachsenen gute Korrekturergebnisse, was auch eine Anwendung in höheren Altersgruppen zur Diskussion bringt. (Saxena et al., 2016)

Doch nicht bei allen symptomatischen Patienten kommt eine Arthrorise in Frage. Kontraindikationen zur Therapie sind beispielsweise eine Arthritis im Sinus tarsi, ein peronealer Muskelspasmus oder zu ausgeprägte Bandlaxität. Auch Knie deformitäten oder Torsionsfehlstellungen stellen problematische Befunde dar. (Highlander et al., 2011)

6.3 Klassifikation von Arthrorise-Implantaten

Über die Zeit haben sich verschiedenste Implantatformen und -materialien auf dem Markt etabliert. Moderne Sinus-tarsi-Implantate bestehen typischerweise aus rostfreiem Stahl, Polyethylen oder Titan. Auch Kombinationen oder bioresorbierbare Varianten sind möglich. (Metcalf et al., 2011) Dennoch konnte bisher nicht bewiesen werden, welches davon nun optimal ist. (Bernasconi et al., 2017)

Grundsätzlich lassen sich 3 Arten von Implantaten nach ihrer biomechanischen Wirkung klassifizieren. Die erste Form ist die „axis-altering“ Variante. Dieses Implantat wird anterior der posterioren Gelenkfläche des unteren Sprunggelenks vertikal in Boden des Sinus tarsi eingebracht. Der Kopf des Implantates stützt den Talus ab, verschiebt dadurch die Achse des subtalaren Gelenks und reduziert die Valgusstellung des Calcaneus. (Bernasconi et al., 2017) Diese Variante scheint besonders gut für jüngere Patienten geeignet, bei denen noch einiges an wachstumsbedingtem Korrekturpotenzial besteht. (DeValentine, 1992) Die nächste Gruppe wird von den „impact-blocking“ Implantaten gebildet. Diese werden etwas weiter anterior als die axis-altering Variante implantiert, um das Gleiten und die Rotation des Talus auf dem Calcaneus zu blockieren. (Bernasconi et al., 2017) Die dritte Variante sind die „self-locking“ Spacer. Diese werden entlang der Achse des Sinus tarsi eingebracht und stützen so den Hals des Talus, was dann den in vorherigen Kapiteln beschriebenen Effekt hat. (Bernasconi et al., 2017) Diese Form ist am besten zur Behandlung bei jugendlichen Patienten geeignet. (DeValentine, 1992)

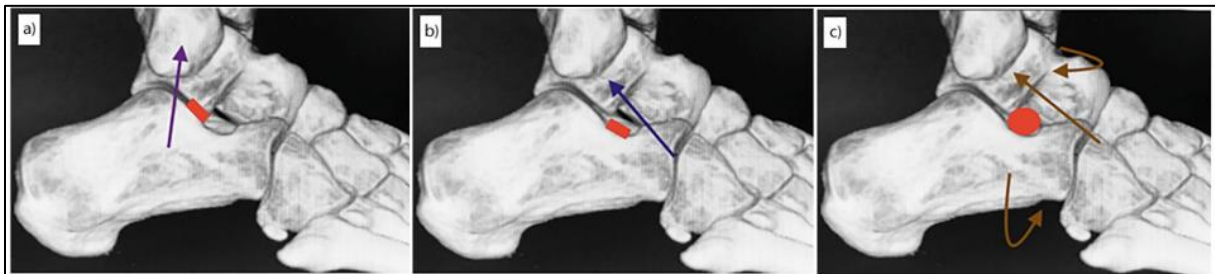


Abbildung 6.2: Implantatvarianten: a) axis-altering, b) impact-blocking, c) self-locking
[Quelle: (Bernasconi et al., 2017)]

6.4 Calcaneus-Stoppschraube

Eine Alternative zu der Arthrorise mittels Spacer ist die Arthrorise mit der Calcaneus-Stoppschraube. Hierbei wird statt eines Sinusimplantats eine Schraube am lateralen Calcaneusrand auf Höhe des Sinus tarsi eingebracht. Die Schraube blockiert wie der Spacer die Valgusstellung und Pronation des Calcaneus und verhindert das mediale Abgleiten des Talus. Letzteres allerdings dadurch, dass der Processus lateralis tali auf dem Schraubenkopf zu liegen kommt. Der Sinus tarsi bleibt dabei frei. (De Pellegrin, 2005) Auf Grund ihres Mechanismus wird die Calcaneus-Stoppschraube zu den impact-blocking Implantaten gezählt. (Vogt et al., 2021)

Die Arthrorisen mittels Sinus-tarsi-Spacer und mittels Calcaneus-Stoppschraube unterscheiden sich also ein wenig in ihrem Wirkmechanismus. Dies führt zu einer unterschiedlichen Ausprägung an Komplikationen. Während ein Spasmus der Peroneusgruppe eine besondere Komplikation der Schraubenarthrorise ist, so scheinen implantatbezogene Schmerzen vermehrt bei Sinus-tarsi-Spacern aufzutreten. Insgesamt unterscheiden sich die Raten an Komplikationen aber nicht. Auch die klinischen und radiologischen Korrekturwerte zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den

Verfahren. (Vogt et al., 2021) Jedoch kann bei einer persistierenden Destabilisierung der medialen Säule des Fußgewölbes nach Schraubenarthrorise ein Verfahrenswechsel auf einen Sinus-tarsi-Spacer dieses Problem oftmals lösen. (Hamel, 2019)

Die Wahl des Implantates bleibt also dem Operateur überlassen. Da sich die Ergebnisse nicht unterscheiden bleiben Kosten, kosmetische Korrektur und die Erfahrung mit dem Implantat die entscheidenden Faktoren für die Wahl der Arthrorise-Variante. (Vescio et al., 2021)

6.5 Intraoperatives Vorgehen

Nach den üblichen operativen Vorbereitungen beginnt der Eingriff mit dem perkutanen Ertasten des Sinus tarsi, woraufhin man eine zirka 2cm lange Inzision über diesem anlegt. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass es zu keinen Verletzungen der Peroneussehnen, des N. suralis oder des N. fibularis superficialis kommt. Dann erfolgt ein Débridement des Sinus tarsi. (Fernández de Retana et al., 2010) Durch die Inzision kann ein Führungsdraht in den Sinus tarsi eingeführt werden, um dessen Lage und Richtung nachvollziehen zu können. Danach erfolgt das Einbringen der Probeimplantate. (Indino et al., 2018) Es empfiehlt sich, beim Eröffnen des Sinus tarsi mit dem kleinsten Probeimplantat zu beginnen, um Größe, Position und Lokalisation besser einschätzen zu können. Danach wird der Sinus tarsi mit immer größeren Dilatatoren eröffnet, bis sich der Calcaneus aufrichtet und eine passiv ausgeführte Dorsalextension vor allem im oberen Sprunggelenk stattfindet. Wird ein zu großes Implantat gewählt, so wird der subtalare Bewegungsumfang zu stark reduziert. Ein zu kleines Implantat verhindert die Eversion des Rückfußes nicht ausreichend. Ein ideal gewähltes Implantat sollte einen festen Sitz im Sinus tarsi aufweisen, den Calcaneus aufrichten und nur noch ein paar Grad Eversionsbewegung im Rückfuß zulassen. (Vulcano et al., 2016)

Im Sinus tarsi finden sich mehrere ligamentäre Strukturen, die den Talus mit dem Calcaneus verbinden. In der Literatur herrscht keine einheitliche Meinung darüber, inwieweit solche interossären Ligamenta im Sinus tarsi gelöst werden sollen. Einige Autoren warnen vor Instabilität, während andere eine besser resultierende Fußform beobachten. (Metcalf et al., 2011)

Sollten weitere deformierende Kräfte wie Verkürzungen der Muskulatur oder Kontrakturen bestehen, sollten diese ebenfalls adressiert werden. Dies erfolgt zum Beispiel durch eine Achillessehnen- oder Gastrocnemiusverlängerung bei entsprechenden Verkürzungen. Nur so kann ein Sinus-tarsi-Implantat auch den gewünschten Effekt entfalten. (Soomekh und Baravarian, 2006) Sollte ein solcher, zusätzlicher Eingriff nötig sein, so empfiehlt es sich, diesen vor der Arthrorise durchzuführen. Dadurch wird es leichter das Implantat einzubringen und man erkennt direkt die endgültige Fußform mit Sinus-tarsi-Spacer. (Fernández de Retana et al., 2010) Da die Arthrorise nur die Bewegungsfreiheit des Subtalargelenks blockiert, aber primär keine Strukturveränderungen hervorruft, muss zur alleinigen Therapie durch diese Operation der Knick-Senkfuß passiv komplett aufrichtbar sein. Alle zusätzlichen Kontrakturen,

Laxitäten oder Fehlstellungen sind zusätzlich mit anderen Verfahren zu korrigieren. (Hell et al., 2018)

6.6 Vor- und Nachteile gegenüber anderen Verfahren

Da Osteotomien und Arthrodesen sehr große Eingriffe darstellen, die auch nicht einfach rückgängig zu machen sind, sollte es zu Komplikationen kommen, ist eine verhältnismäßig kleine Operation eine gern gesehene Alternative. Diese stellt die Arthrorise dar, da sie eine Aufrichtung des Fußgewölbes bewirken kann, ohne dass ein großes Trauma gesetzt werden muss. (Ortiz et al., 2018)

Die Arthrorise mittels Sinus-tarsi-Spacer spart Gelenke und Weichteilstrukturen aus und behandelt die Fehlstellung, ohne diese Strukturen zu schädigen. Auch das ossäre Wachstum wird dabei nicht gestört. (Highlander et al., 2011) Daraus ergeben sich dann weitere Vorteile der Arthrorise im Vergleich zu anderen Verfahren.

So stellt die Arthrorise einen nahezu reversiblen Eingriff dar. Sollte das Implantat in irgendeiner Form Schwierigkeiten machen, so kann es wieder entfernt werden, ohne dass ossäre Schäden entstanden sind. Damit besteht dann immer noch die Möglichkeit eine invasivere Therapie zu wählen. (Graham, 2013; Metcalfe et al., 2011) Ein weiterer Vorteil ist, dass für den Patienten eine schnellere Mobilisation möglich ist. Da keine knöchernen oder weichteiligen Strukturen verändert werden, kann der Patient den Fuß schneller wieder belasten. (Graham, 2013; Fernández de Retana et al., 2010)

Ein Nachteil der Arthrorise ist, dass mit der Methode Mittel- und Vorfußdeformitäten nicht gezielt adressiert werden. Sollten diese sehr ausgeprägt sein, können die Probleme in dem entsprechenden Bereich nach der Operation sogar verschlimmert werden. Hier sind Osteotomien im Vorteil, da sie ein Problem gezielter beheben. (Soomekh und Baravarian, 2006)

6.7 Komplikationen aus der Literatur

Wie bei allen operativen Eingriffen kann es im Verlauf zu Komplikationen kommen. Während einige davon, wie beispielsweise Blutungen oder Infektionen, zu den allgemeinen Komplikationen zählen, werden in der Literatur auch spezifische Probleme nach Implantation eines Sinus-tarsi-Spacers beschrieben.

Die Komplikationen, die bei subtalarer Arthrorise auftreten können, lassen sich grob in 4 Gruppen untergliedern. Eine Gruppe sind unpassende Indikationsstellungen, eine die technischen Fehler, die bei der Operation unterlaufen können. Die weiteren beiden Gruppen entstehen postoperativ. So können das einerseits Adaptationsprobleme des Patienten, andererseits aber Materialversagen sein. (Bernasconi et al., 2017)

Dass das Alter des Patienten eine entscheidende Rolle beim Stellen einer Operationsindikation spielt, wurde im Laufe dieser Arbeit schon dargelegt (siehe 6.2 Indikation). Das Alter spielt vor

allem eine Rolle bei den Erfolgsaussichten des Eingriffs und sollte bei der Indikationsstellung berücksichtigt werden. Bei Kindern liegt die Explantationsrate nach Arthrorise bei unter 10%, während sie bei Erwachsenen sehr viel höher ausfällt. Dies lässt sich am besten auf die wachstumsbedingte Anpassung des Fußes an die neuen Stellungsverhältnisse erklären. (Vulcano et al., 2016) Doch nicht nur bei Erwachsenen, auch bei zu alten Kindern scheint die Rate an Fehlschlägen erhöht zu sein. Andererseits zeigte sich bei zu jungen Patienten eine erhöhte Tendenz einen Pes cavovarus zu entwickeln. (Ortiz et al., 2018) Auch ist die Indikation bei Patienten mit vermehrter Vorfußsupination streng zu stellen. Sollte sie zu stark ausfallen, so kann sie durch die Arthrorise nicht vollständig korrigiert werden. Beim Gehen führt dies als Ausgleich zu einer Rückfußversion trotz Implantat, was wiederum Schmerzen durch Kompression von diesem auslösen kann. (Vulcano et al., 2016)

Zu den technischen Fehlern werden vor allem Über- und Unterkorrekturen gezählt. (Bernasconi et al., 2017) Beim Sinus-tarsi-Spacer stellt die korrekte Wahl der Implantatgröße die Schwierigkeit dar, bei der Calcaneus-Stoppschraube handelt es sich um Fehlplatzierungen eben dieser. (Hamel, 2019) Schlecht positionierte Implantate oder Implantate in der falschen Größe verursachen Schmerzen oder Bewegungseinschränkungen, welche eine Explantation notwendig machen. (Soomekh und Baravarian, 2006)

Direkte Reaktionen auf das Implantat können zu weiteren Schwierigkeiten führen. Zu den häufigeren Komplikationen zählt die Synovitis im Bereich des Sinus tarsi. Diese bildet sich jedoch in den meisten Fällen spontan von selbst zurück. (DeValentine, 1992) Sollte dies nicht der Fall sein, so ist eine komplette Resolution nach Explantation des Implantates zu erwarten. (Bernasconi et al., 2017)

Zu den Komplikationen, die postoperativ auftreten, zählen beispielsweise die Entwicklung von Granulomen als Implantatreaktion, eine Dislokation des Implantats oder Frakturen des Taluskopfes. (Indino et al., 2018) Letzteres gehört zusammen mit der postoperativen Fusion des subtalaren Gelenks zu den seltenen in der Literatur beschriebenen Komplikationen. (Bernasconi et al., 2017)

6.8 Arthrorise bei neurogenem Knick-Senkfuß

Beim neurogenen Pes planovalgus ist vor allem die Calcaneusverlängerung nach Evans ein etabliertes Verfahren zur Korrektur der Fehlstellung, aber auch andere Osteotomien liefern zufriedenstellende Ergebnisse. (Wirth, 2002) Ebenso zählen die Arthrodesse und der Sehnentransfer zu den häufig genutzten Techniken, aber wenn der Fuß noch flexibel genug ist, kann eine Behandlung mittels Arthrorise in Betracht gezogen werden. (Fernández de Retana et al, 2010) Die Idee, den neurogenen Knick-Senkfuß mittels Arthrorise zu behandeln existiert schon länger, allerdings konnte sich das Verfahren nie wirklich etablieren. Dies rührt auch daher, dass Berichte aus der Literatur selten sind und wenn, dann sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern. Einige Autoren verließen diese Therapieoption wieder, während andere von sehr guten Ergebnissen berichten. (Hefti et al., 2015; Wen et al., 2017)

7 Fragestellung

Die Arthrorise ist ein etabliertes Therapieverfahren bei der Behandlung symptomatischer idiopathischer Knick-Senkfüße. Wie bereits erläutert, gab es bereits Versuche, dieses erfolgreiche Schema auch am neurogenen Pes planovalgus anzuwenden. Die wenige Literatur, die vorhanden ist, berichtet hierbei von unterschiedlichen Ergebnissen. Das Ziel dieser Arbeit war, eine Antwort auf die Frage zu geben, ob die Arthrorise eine sinnvolle Therapieoption bei neurogenen Knick-Senkfüßen darstellen kann.

Die hierfür überlegte Hypothese war, dass sich die Korrekturergebnisse der Arthrorise beim neurogenen Knick-Senkfuß nicht signifikant von denen bei einer Kontrollgruppe mit idiopathischem Pes planovalgus unterscheiden sollten.

8 Material und Methodik

8.1 Studiendesign

Die vorliegende Arbeit soll die Effektivität der Arthrorise mittels Sinus-tarsi-Spacer bei neurogenem Knick-Senkfuß darstellen. Hierfür sollen die Ergebnisse mit Daten aus einer Kontrollgruppe mit idiopathischem Pes planus verglichen werden. Die Erhebung der Daten erfolgte rein retrospektiv unter zuvor festgesetzten Einschlusskriterien. Als primärer Endpunkt sollte der TMT-Index nach Hamel und Kinast (Hamel und Kinast, 2006) fungieren. Darüber hinaus wurden noch weitere Winkel und ergebnisrelevante Daten erhoben, um eine verbesserte Interpretation zu ermöglichen.

8.2 Patientengut

Die Erhebung der Patientendaten erfolgte retrospektiv. Es wurden die Ergebnisse einer Patientengruppe mit neurogenem Knick-Senkfuß mit denen aus einer Kontrollgruppe mit idiopathischem Pes planovalgus verglichen.

In Betracht kamen alle Patienten, die im Zuge der Pes planovalgus Therapie in der Abteilung für Kinder- und Neuroorthopädie der Schön Klinik München Harlaching in den Jahren 2009 bis 2017 eine subtalare Arthrorise mittels Sinus-tarsi-Spacer erhalten hatten. Um einen Systemfehler in der Analyse zu vermeiden, sollten die beiden Patientengruppen möglichst homogen sein. Daher galt für die Gruppe der neurogenen Knick-Senkfüße, dass nur jene in Betracht gezogen wurden, welche durch eine infantile Zerebralparese verursacht wurden. Im Falle der idiopathischen Fehlstellungen sollten keine weiteren, für die Entstehung eines Plattfußes relevanten, Pathologien bestehen. Des Weiteren mussten zur Erstellung eines TMT-Index von jedem eingeschlossenen Patienten sowohl präoperativ als auch postoperativ belastete Röntgenbilder vorhanden sein. Auch sollten alle Patienten beider Gruppen mit demselben Implantat versorgt worden sein, welches in diesem Patientenkollektiv der Sinus-tarsi-Spacer der Firma Tornier® war. Diese Arbeit soll keine Überlegenheit dieses Implantats gegenüber anderen aufzeigen, jedoch dient die einheitliche Versorgung mit einem Implantat der Reduktion statistischer Fehler. Sollten begleitende Weichteileingriffe durchgeführt worden sein, so stellte dies kein Ausschlusskriterium dar, da im Falle eines neurogenen Knick-Senkfußes in allen Fällen eine Myofasziotomie nach Ulzibat durchgeführt wurde, um Kontrakturen zu lösen und die muskuläre Balance zu verbessern.

Nach den genannten Kriterien wurden insgesamt 63 Patienten in die Studie eingeschlossen. Davon wurden 46 der Gruppe der idiopathischen Knick-Senkfüße zugeteilt, während 17 wegen ihres neurogenen Pes planovalgus in Behandlung waren. Von dem Gesamtkollektiv waren 39 (62%) männliche und 24 (38%) weibliche Patienten.

8.2.1 Gruppe der idiopathischen Knick-Senkfüße

Von den 46 eingeschlossenen Patienten waren 28 (61%) Jungen und 18 (39%) Mädchen. Von diesen wurden 41 bilateral und 5 unilateral operiert, allerdings konnten auf Grund fehlender Röntgenbilder 5 Füße der beidseitig operierten Patienten nicht eingeschlossen werden. Daraus folgt eine Gesamtzahl von 82 eingeschlossenen Füßen. Davon waren 40 linke und 42 rechte Füße.

Die Patienten waren zum Zeitpunkt des Eingriffs im Durchschnitt 12 ± 2 Jahre alt. Die Altersspannweite lag zwischen 7 und 18 Jahren.

8.2.2 Gruppe der neurogenen Knick-Senkfüße

Im Patientenkollektiv mit infantiler Zerebralparese verhielt es sich ähnlich. In diese Gruppe wurden 11 (65%) Jungen und 6 (35%) Mädchen eingeschlossen. Von diesen 17 Patienten wurden 12 bilateral mit einer Arthrorise versorgt, 5 unilateral. Ein Fuß eines bilateral operierten Patienten musste auf Grund fehlender Bildgebung aus dem Kollektiv herausgenommen werden. So wurden 28 Füße in die Untersuchung eingeschlossen, wovon jeweils 14 linke und rechte Füße waren.

Das Durchschnittsalter der Patienten war am Operationstag 12 ± 4 Jahre, wobei der jüngste Patient 7 und der älteste 22 Jahre alt war. Der Patient, welcher mit 22 Jahren noch operiert wurde, stellt in diesem Fall einen Ausreißer dar, da sich das restliche Patientenkollektiv zwischen 7 und 16 Jahren bewegt.

Die Patienten der neurogenen Gruppe wurden auch gemäß dem GMFCS eingestuft. Aus der Gruppe wiesen 8 Kinder einen Score von II, 3 Kinder einen Score von III und 2 Kinder einen Score von IV auf. Vier Patienten war im Zuge der Behandlung kein Level gemäß GMFCS zugeordnet worden.

8.3 Röntgenbilder und ausgemessene Winkel

Da der TMT-Index nach Hamel und Kinast als primärer Endpunkt definiert wurde, mussten die hierfür notwendigen Röntgenbilder gemacht worden sein. Dies bedeutet, dass präoperativ und postoperativ sowohl Bilder in seitlicher als auch in anterior-posteriorer Ansicht aufgenommen worden sein mussten. Die Füße mussten dabei belastet sein, um das maximale Ausmaß der Fehlstellung zu zeigen.

Die Vermessung der Winkel erfolgte mit dem von der Schön Klinik München Harlaching 2017 genutzten Röntgenprogramm. Im seitlichen Röntgenbild wurden 3 verschiedene Winkel gemessen, in a.p. Ansicht waren es 2.

Bei den Winkeln im seitlichen Röntgenbild handelte es sich zunächst um den Talo-Metatarsale-I-Winkel, der auch zur Erstellung des TMT-Index gebraucht wurde. Des Weiteren wurden der Talo-Calcareare Winkel und der Calcaneus-Boden-Winkel bestimmt. Die Winkel,

die in a.p. Projektion konstruiert wurden, waren der Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel und der talonaviculare coverage angle.

Die beiden Winkel, die zur Bildung des TMT-Index benötigt wurden, erhielten gleich bei der Ausmessung das entsprechende Vorzeichen, um die Richtung des Winkels anzugeben. Aber auch die anderen Winkel erhielten ein Vorzeichen, um festzuhalten, in welche Richtung sich diese öffnen.

Der Talo-Metatarsale-I-Winkel entsteht aus der Achse des Os metatarsale I und der des Talus. Zur Angabe der Richtung erhielt der Winkel, wenn er in Richtung des Fußrückens offen war, ein negatives Vorzeichen.

Der Talo-Calcareare Winkel entsteht aus der Achse des Talus und der des Calcaneus. Der Winkel erhielt ein positives Vorzeichen, wenn er sich als ein nach dorsal geöffneter Winkel präsentierte. Theoretisch hätte er in umgekehrter Richtung ein negatives Vorzeichen erhalten, was jedoch nicht vorkam.

Der Calcaneus-Boden-Winkel, bestehend aus Calcaneusachse und Auftrittsfläche, wurde mit einem positiven Vorzeichen versehen, wenn der Winkel sich nach ventral öffnete, beziehungsweise ein negatives, wenn er nach dorsal zeigte, was in einzelnen Fällen der neurogenen Gruppe der Fall war.

Der Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel wird von der Talusachse und einer Linie, welche vom Mittelpunkt des Taluskopfes zur Mitte des Tarsometatarsale-I-Gelenks zieht, gebildet. Zeigte sich dieser Winkel nach lateral offen, so wurde er mit einer negativen Gradzahl beschrieben.

Für den talonaviculare coverage angle, welcher die Stellung der Gelenkflächen des talonavicularen Gelenks beschreibt, wurden ebenfalls Vorzeichen für die Öffnungsrichtung festgelegt. Zeigte der Winkel nach medial, so war er positiv, zeigte er nach lateral, so war er negativ.

8.4 Statistik

Die statistische Auswertung der Studie erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS [Version 25]. Die Messergebnisse wurden deskriptiv ausgewertet sowie Häufigkeiten relevanter Ereignisse dargestellt.

Es erfolgte eine Korrelationsanalyse zwischen unterschiedlichen Parametern. Abhängig davon, ob es sich bei den Skalenpaaren um nominale, ordinale oder kardinale Skalenniveaus handelte, wurde ein entsprechender Test gewählt. Zur Anwendung kam Pearson, Kendall-Tau oder Spearman, Chi-Quadrat und der Eta-Koeffizient. War ein Chi-Quadrat-Test auf Grund von einer zu kleinen erwarteten Häufigkeit nicht aussagekräftig, so wurde ein exakter Test nach Fisher durchgeführt.

Bei den erfassten Winkelmaßen in den untersuchten Gruppen handelte es sich um normalverteilte Werte. Somit konnte die Signifikanzanalyse mittels T-Test erfolgen. Auch der Vergleich zwischen den Gruppen konnte mit dieser Methode erfolgen.

Für alle Tests wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt.

Sämtliche Tabellen und Diagramme wurden ebenfalls mit SPSS erstellt.

9 Ergebnisse

Es konnten 110 FüÙe, die mittels subtalarer Arthrorise im Zuge der Therapie des Pes planovalgus behandelt wurden, in die Studie eingeschlossen werden.

9.1 Auswertung der idiopathischen Patientengruppe

Insgesamt befanden sich in der idiopathischen Gruppe 82 FüÙe, welche alle durch Arthrorise mittels Sinus-Tarsi-Spacer der Firma Tornier® versorgt wurden. Diese Fälle wurden nach mehreren Punkten ausgewertet.

9.1.1 Geschlecht

Von den 82 FüÙen gehörten 53 (65%) zu männlichen Patienten, die anderen 29 (35%) zu den weiblichen.

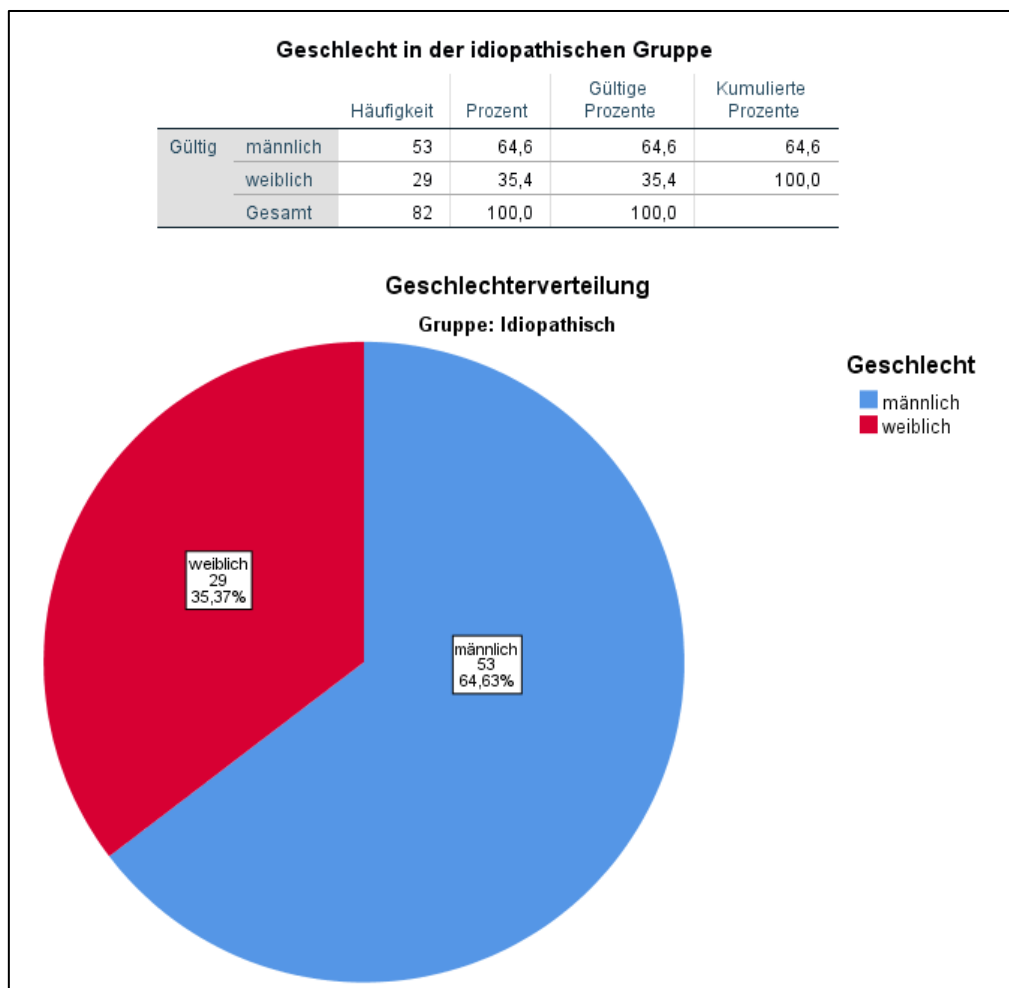


Abbildung 9.1: Geschlechterverteilung - idiopathische Gruppe

Innerhalb der idiopathischen Gruppe wurde untersucht, ob sich in Bezug auf die relevanten Parameter Unterschiede zwischen den Geschlechtern zeigen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden.

Im Alter unterschieden sich die männlichen und weiblichen Patienten nicht signifikant. Männliche Patienten waren bei der Operation im Schnitt $12,3 \pm 2,1$ Jahre alt, während weibliche Patienten $12,2 \pm 1,9$ Jahre alt waren.

Idiopathisch: Statistiken				Idiopathisch: Alter bei OP nach Geschlecht							
Alter bei OP				Geschlecht		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente		
männlich	N	Gültig	53	männlich	Gültig	10	13	24,5	24,5		
		Fehlend	0			11	8	15,1	15,1	39,6	
	Mittelwert	12,26	12			12	22,6	22,6	62,3		
	Median	12,00	13			8	15,1	15,1	77,4		
	Std.-Abweichung	2,058	14			4	7,5	7,5	84,9		
	Minimum	10	15			4	7,5	7,5	92,5		
	Maximum	18	16			2	3,8	3,8	96,2		
						18	2	3,8	3,8	100,0	
weiblich	N	Gültig	29	weiblich	Gültig	Gesamt	53	100,0	100,0		
		Fehlend	0			weiblich	Gültig	7	1	3,4	3,4
	Mittelwert	12,17	10			1	3,4	3,4	6,9		
	Median	12,00	11			7	24,1	24,1	31,0		
	Std.-Abweichung	1,891	12			11	37,9	37,9	69,0		
	Minimum	7	13			6	20,7	20,7	89,7		
	Maximum	17	15			1	3,4	3,4	93,1		
			17			2	6,9	6,9	100,0		
			Gesamt	29	100,0	100,0					

Abbildung 9.2: Altersverteilung nach Geschlecht - idiopathische Gruppe

Idiopathisch: Richtungsmaße Alter bei OP und Geschlecht			
			Wert
Nominal- bzgl. Intervallmaß	Eta	Alter bei OP abhängig	,022
		Geschlecht abhängig	,469

Idiopathisch: Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: Alter bei OP					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	,158 ^a	1	,158	,039	,843
Konstanter Term	11192,841	1	11192,841	2794,370	,000
Geschlecht	,158	1	,158	,039	,843
Fehler	320,440	80	4,005		
Gesamt	12589,000	82			
Korrigierte Gesamtvariation	320,598	81			

a. R-Quadrat = ,000 (korrigiertes R-Quadrat = -,012)

Abbildung 9.3: Eta-Koeffizient Alter und Geschlecht - idiopathische Gruppe

Bei beiden Geschlechtern wurde im Median ein Spacer der Größe 10 implantiert. Auch hier fiel der Signifikanztest negativ aus.

Idiopathisch: Statistiken				Idiopathisch: Implantatgröße nach Geschlecht				
Implantatgröße								
männlich	N	Gültig	53					
		Fehlend	0					
		Mittelwert	10,11					
		Median	10,00					
		Std.-Abweichung	,891					
		Minimum	9					
		Maximum	12					
weiblich	N	Gültig	29					
		Fehlend	0					
		Mittelwert	9,52					
		Median	10,00					
		Std.-Abweichung	,871					
		Minimum	7					
		Maximum	11					
				Geschlecht	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
männlich		Gültig	9	15	28,3	28,3	28,3	28,3
			10	20	37,7	37,7	66,0	
			11	15	28,3	28,3	94,3	
			12	3	5,7	5,7	100,0	
			Gesamt	53	100,0	100,0		
weiblich		Gültig	7	1	3,4	3,4	3,4	3,4
			8	1	3,4	3,4	6,9	
			9	12	41,4	41,4	48,3	
			10	12	41,4	41,4	89,7	
			11	3	10,3	10,3	100,0	
			Gesamt	29	100,0	100,0		

Abbildung 9.4: Implantatgröße nach Geschlecht - idiopathische Gruppe

Idiopathisch: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Geschlecht						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	9,087 ^a	5	,106	,070		
Likelihood-Quotient	10,892	5	,054	,054		
Exakter Test nach Fisher	8,397			,079		
Zusammenhang linear mit-linear	7,790 ^b	1	,005	,005	,003	,002
Anzahl der gültigen Fälle	82					

a. 6 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,35.

b. Die standardisierte Statistik ist -2,791.

Abbildung 9.5: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Geschlecht - idiopathische Gruppe. Bei erwarteter Häufigkeit kleiner 5 gilt: Exakter Test nach Fisher.

In Bezug auf die Komplikationsrate kamen auf 53 Füße von männlichen Patienten 13 Komplikationen, was einer Rate von zirka 25% entspricht. Bei den Mädchen ließen sich 12 Komplikationen bei 29 Fällen beobachten. Also traten bei Mädchen in 41% der Fälle Probleme auf. Die erhöhte Komplikationsrate bei weiblichen Patienten war nicht signifikant.

Auch die Komplikationen mit folgender Metallentfernung waren bei den weiblichen Patienten mit 4 auf 29 Fällen, also knapp 14%, mehr als bei den männlichen Vertretern mit 3 auf 53, beziehungsweise 6%. Doch auch in Fällen mit Metallentfernung war das häufigere Auftreten bei weiblichen Patienten nicht signifikant.

Idiopathisch: Komplikationen nach Geschlecht						
Geschlecht			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
männlich	Gültig	keine	40	75,5	75,5	75,5
		ohne ME	10	18,9	18,9	94,3
		mit ME	3	5,7	5,7	100,0
		Gesamt	53	100,0	100,0	
weiblich	Gültig	keine	17	58,6	58,6	58,6
		ohne ME	8	27,6	27,6	86,2
		mit ME	4	13,8	13,8	100,0
		Gesamt	29	100,0	100,0	

Abbildung 9.6: Komplikationen nach Geschlecht - idiopathische Gruppe

Idiopathisch: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen nach Geschlecht					
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	2,511 ^a	1	,113		
Kontinuitätskorrektur ^b	1,779	1	,182		
Likelihood-Quotient	2,462	1	,117		
Exakter Test nach Fisher				,136	,092
Zusammenhang linear-mit-linear	2,481	1	,115		
Anzahl der gültigen Fälle	82				

a. 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 8,84.

Idiopathisch: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen mit ME nach Geschlecht					
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	1,588 ^a	1	,208		
Kontinuitätskorrektur ^b	,717	1	,397		
Likelihood-Quotient	1,510	1	,219		
Exakter Test nach Fisher				,237	,196
Zusammenhang linear-mit-linear	1,568	1	,210		
Anzahl der gültigen Fälle	82				

a. 2 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 2,48.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

Abbildung 9.7: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen nach Geschlecht - idiopathische Gruppe. Bei erwarteter Häufigkeit kleiner 5 gilt: Exakter Test nach Fisher.

9.1.2 Alter bei OP

Am Operationstag war das Durchschnittsalter der Fälle 12 ± 2 Jahre. Der jüngste Patient war 7, der älteste war 18 Jahre alt. Die meisten Patienten lagen in einem Altersbereich von 10 bis 13 Jahren.

Idiopathisch: Statistiken			Idiopathisch: Alter bei OP			
Alter bei OP			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
N	Gültig	82	Gültig 7	1	1,2	1,2
	Fehlend	0	10	14	17,1	17,1
Mittelwert		12,23	11	15	18,3	36,6
Median		12,00	12	23	28,0	64,6
Std.-Abweichung		1,989	13	14	17,1	81,7
Minimum		7	14	4	4,9	86,6
Maximum		18	15	5	6,1	92,7
			16	2	2,4	95,1
			17	2	2,4	97,6
			18	2	2,4	100,0
			Gesamt	82	100,0	100,0

Abbildung 9.8: Altersverteilung - idiopathische Gruppe

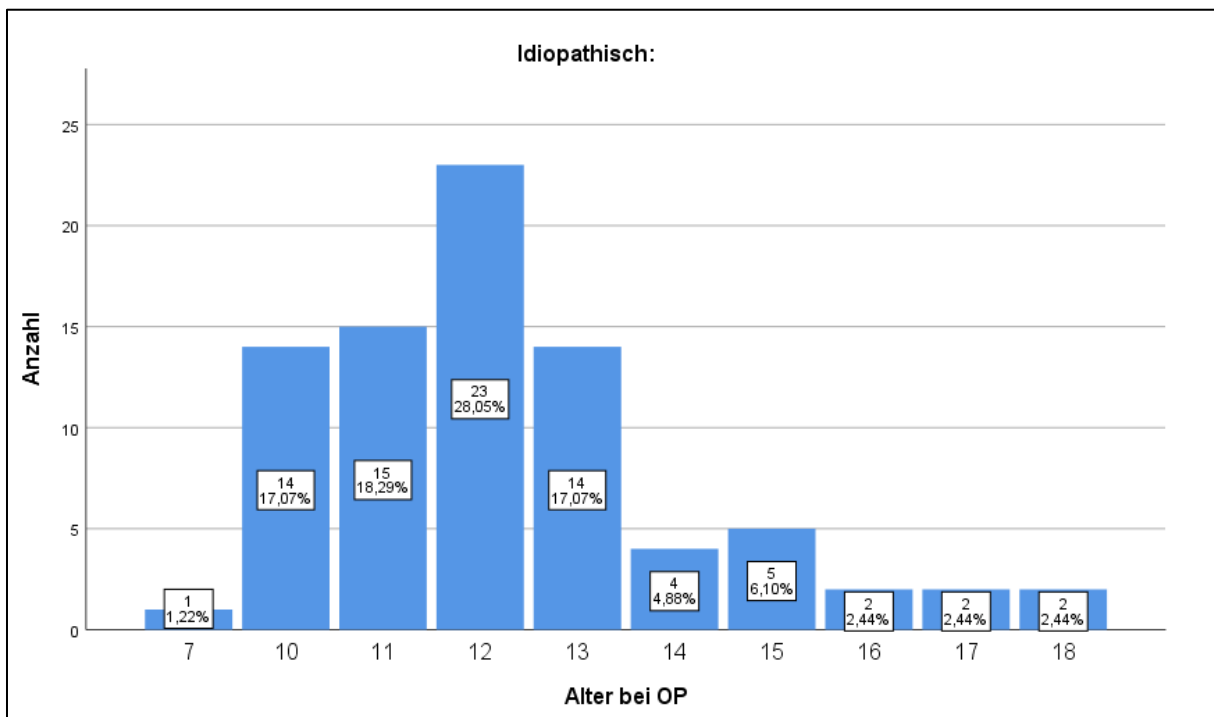


Abbildung 9.9: Altersverteilung Diagramm - idiopathische Gruppe

Zwischen dem Alter bei OP und der Implantatgröße zeigte sich eine signifikante positive Korrelation. Mit höherem Alter wurden somit größere Spacer benötigt.

Idiopathisch: Korrelationen Alter bei OP und Implantatgröße			Alter bei OP	Implantatgröße
Kendal-Tau-b	Alter bei OP	Korrelationskoeffizient	1,000	,309**
		Sig. (2-seitig)	.	,001
		N	82	82
	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	,309**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,001	.
		N	82	82
Spearman-Rho	Alter bei OP	Korrelationskoeffizient	1,000	,375**
		Sig. (2-seitig)	.	,001
		N	82	82
	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	,375**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,001	.
		N	82	82

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Abbildung 9.10: Korrelationen Alter und Implantatgröße - idiopathische Gruppe

Eine signifikante Korrelation zwischen dem Patientenalter und dem Operationsergebnis, dargestellt durch die TMT-Index-Änderung, zeigt sich nicht.

Idiopathisch: Korrelationen Alter bei OP und TMT-Index Änderung			
		Alter bei OP	TMT-Index Änderung
Alter bei OP	Korrelation nach Pearson	1	-,108
	Signifikanz (2-seitig)		,334
	N	82	82
TMT-Index Änderung	Korrelation nach Pearson	-,108	1
	Signifikanz (2-seitig)	,334	
	N	82	82

Abbildung 9.11: Korrelationen Alter und Operationsergebnis – idiopathische Gruppe

Ebenso gab es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und den Komplikationen sowohl mit als auch ohne Metallentfernung.

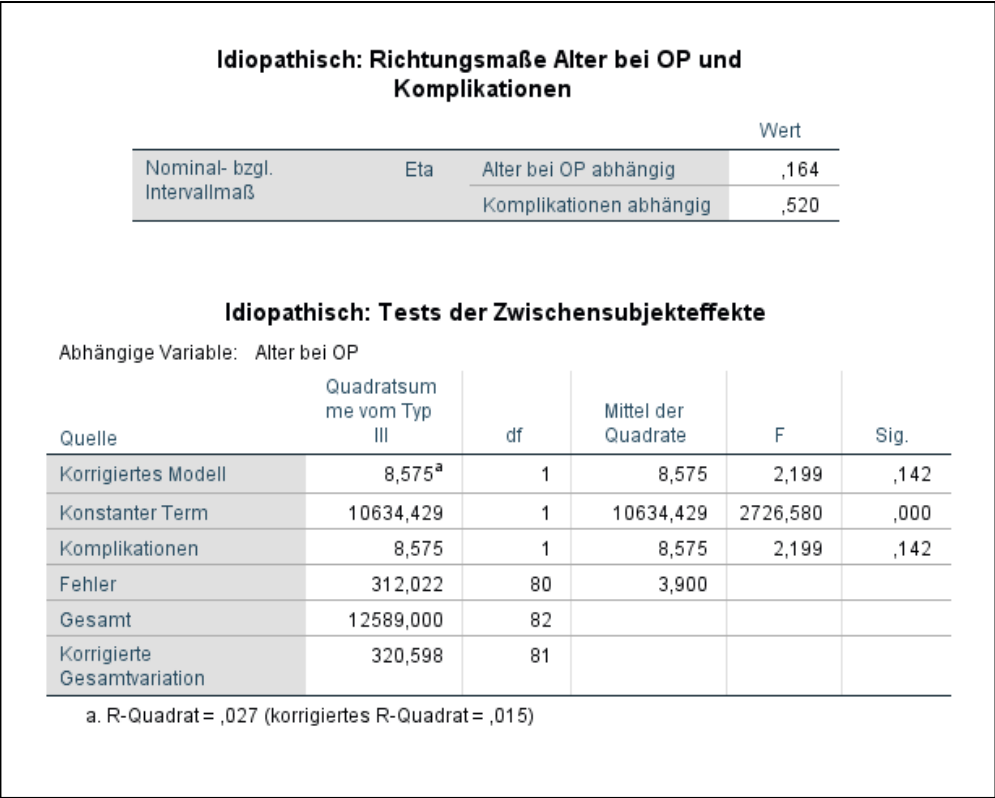


Abbildung 9.12: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen – idiopathische Gruppe

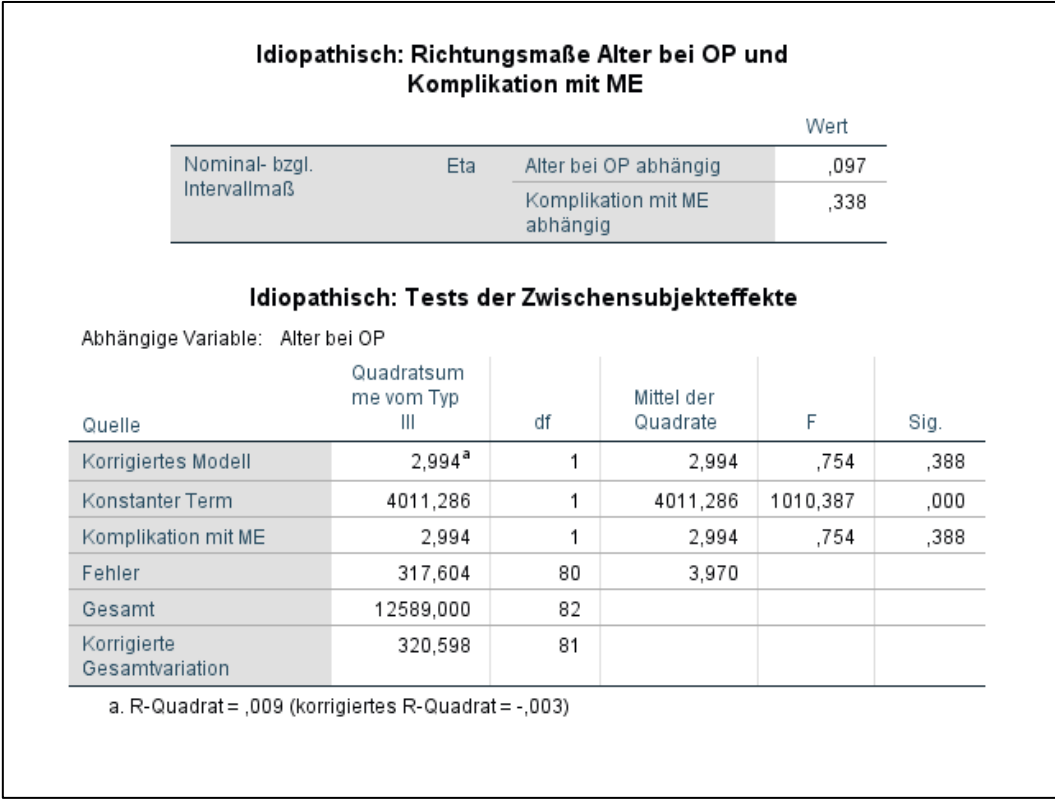


Abbildung 9.13: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen mit Metallentfernung – idiopathische Gruppe

9.1.3 Implantatgröße

In der Analyse der Implantatgrößen zeigt sich, dass Spacergrößen von 7 bis 12 genutzt wurden. Die meisten waren im Bereich von 9 bis 11 und der Median lag bei 10.

Idiopathisch: Statistiken			Idiopathisch: Implantatgröße				
Implantatgröße			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente	
N	Gültig	82	Gültig 7	1	1,2	1,2	1,2
	Fehlend	0	8	1	1,2	1,2	2,4
Mittelwert		9,90	9	27	32,9	32,9	35,4
Median		10,00	10	32	39,0	39,0	74,4
Std.-Abweichung		,924	11	18	22,0	22,0	96,3
Minimum		7	12	3	3,7	3,7	100,0
Maximum		12	Gesamt	82	100,0	100,0	

Abbildung 9.14: Implantatgröße - idiopathische Gruppe

Die Signifikanztestung mit dem exakten Test nach Fisher erbrachte einen P-Wert von 0,043 und somit einen Hinweis auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen Implantatgröße und Komplikationen. Mit dieser Signifikanztestung kann aber nicht abgeleitet werden, ob nun größere oder kleinere Implantate zu vermehrten Komplikationen führen sollen. Hierfür bedarf es einer Interpretation der Werte der Kreuztabelle, bei der sich keine gerichtete Korrelation ableiten lässt. Dies bedeutet, dass in diesem Patientenkollektiv zwar einzelne Implantatgrößen zu mehr Komplikationen als erwartet geführt haben, jedoch keine Aussage getroffen werden kann ob größere oder kleinere Implantate zu mehr Komplikationen führen. Eine klinische Relevanz dieses Zusammenhanges ist somit fraglich.

Implantatgröße * Komplikationen Kreuztabelle					
		Komplikationen		Gesamt	
		nein	ja		
Implantatgröße	7	Anzahl	1	0	1
		Erwartete Anzahl	,7	,3	1,0
8	Anzahl	0	1	1	
		Erwartete Anzahl	,7	,3	1,0
9	Anzahl	22	5	27	
		Erwartete Anzahl	18,8	8,2	27,0
10	Anzahl	17	15	32	
		Erwartete Anzahl	22,2	9,8	32,0
11	Anzahl	15	3	18	
		Erwartete Anzahl	12,5	5,5	18,0
12	Anzahl	2	1	3	
		Erwartete Anzahl	2,1	,9	3,0
Gesamt	Anzahl	57	25	82	
		Erwartete Anzahl	57,0	25,0	82,0

Abbildung 9.15: Implantatgröße zu Komplikationen Kreuztabelle - idiopathische Gruppe

Idiopathisch: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Komplikationen						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	10,233 ^a	5	,069	,049		
Likelihood-Quotient	10,700	5	,058	,059		
Exakter Test nach Fisher	9,863			,043		
Zusammenhang linear-mit-linear	,013 ^b	1	,909	1,000	,506	,102
Anzahl der gültigen Fälle	82					

a. 6 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,30.

b. Die standardisierte Statistik ist ,114.

Idiopathisch: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Komplikationen mit ME						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	13,456 ^a	5	,019	,102		
Likelihood-Quotient	9,464	5	,092	,073		
Exakter Test nach Fisher	8,633			,134		
Zusammenhang linear-mit-linear	2,011 ^b	1	,156	,199	,113	,063
Anzahl der gültigen Fälle	82					

a. 9 Zellen (75,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,09.

b. Die standardisierte Statistik ist -1,418.

Abbildung 9.16: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Komplikationen – idiopathische Gruppe. Bei erwarteter Häufigkeit kleiner 5 gilt: Exakter Test nach Fisher.

Idiopathisch: Korrelationen Implantatgröße und TMT-Index-Änderung				
			Implantatgröße	TMT-Index Änderung
Kendall-Tau-b	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	1,000	-,036
		Sig. (2-seitig)	.	,671
		N	82	82
	TMT-Index Änderung	Korrelationskoeffizient	-,036	1,000
		Sig. (2-seitig)	,671	.
		N	82	82
Spearman-Rho	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	1,000	-,045
		Sig. (2-seitig)	.	,685
		N	82	82
	TMT-Index Änderung	Korrelationskoeffizient	-,045	1,000
		Sig. (2-seitig)	,685	.
		N	82	82

Abbildung 9.17: Korrelation Implantatgröße und Operationsergebnis - idiopathische Gruppe

9.1.4 Komplikationen

Im Zuge der Analyse wurden Komplikationen in verschiedener Hinsicht betrachtet. Einerseits die Anzahl und Art der Komplikationen insgesamt, andererseits nochmals separat die Komplikationen, welche eine Metallentfernung notwendig machten.

Insgesamt traten in 25 von 82 Fällen (30,5%) Komplikationen auf. Beim Großteil dieser Ereignisse handelte es sich um eine verstärkte Schmerzsymptomatik nach Spacer-Implantation. In zwei Fällen ließ sich eine Dislokation des Spacers feststellen. In 18 von 82 Fällen (22%) war der vorliegende Sinus-tarsi-Schmerz konservativ therapierbar.

In 7 von 82 Fällen (8,5%) waren die Schmerzen konservativ nicht therapierbar, wodurch eine Metallentfernung notwendig wurde. Danach besserten sich die Beschwerden der Patienten in allen Fällen.

Idiopathisch: Komplikationen					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine	57	69,5	69,5	69,5
	ohne ME	18	22,0	22,0	91,5
	mit ME	7	8,5	8,5	100,0
	Gesamt	82	100,0	100,0	

Abbildung 9.18: Komplikationsrate - idiopathische Gruppe

9.1.5 Metallentfernung

Eine Entfernung des Implantats aus dem Sinus tarsi wurde in 9 Fällen durchgeführt. In 7 Fällen stand dies im Zusammenhang mit starken Beschwerden seitens des Patienten, welche eine Explantation notwendig machten. In 2 Fällen wurde der Spacer nach einigen Jahren bei gutem Operationsergebnis auf Wunsch des Patienten entfernt.

9.1.6 Winkel im seitlichen Strahlengang

9.1.6.1 Talo-Metatarsale-I-Winkel

Für den TMT-I-Winkel wurde anhand der Röntgenbilder ein prä- und ein postoperativer Wert bestimmt und diese miteinander verglichen.

Der Mittelwert des präoperativen TMT-I-Winkels bei den 82 idiopathischen Fällen belief sich auf $-13,9 \pm 8,3^\circ$. Der geringste Wert war dabei ein Winkel von $-40,9^\circ$, während der größte $4,3^\circ$ aufwies.

Postoperativ eröffnete sich ein TMT-I-Winkel von durchschnittlich $-4,4 \pm 5,7^\circ$, wobei die Werte zwischen $-20,9^\circ$ und 7° lagen.

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Änderung des Talo-Metatarsale-I-Winkels von $9,4 \pm 5,8^\circ$ durch den Eingriff. Die Differenz zwischen prä- und postoperativen Werten war signifikant.

Idiopathisch: TMT-I - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	TMT-I postoperativ	-4,438	82	5,6773	,6270
	TMT-I präoperativ	-13,859	82	8,2896	,9154

Idiopathisch: TMT-I - t-Test bei gepaarten Stichproben									
Paaren 1	TMT-I postoperativ - TMT-I präoperativ	Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		T	df	Sig. (2-seitig)
					95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
		9,4207	5,8013	,6406	8,1461	10,6954	14,705	81	,000

Abbildung 9.19: TMT-I-Winkel Statistik - idiopathische Gruppe

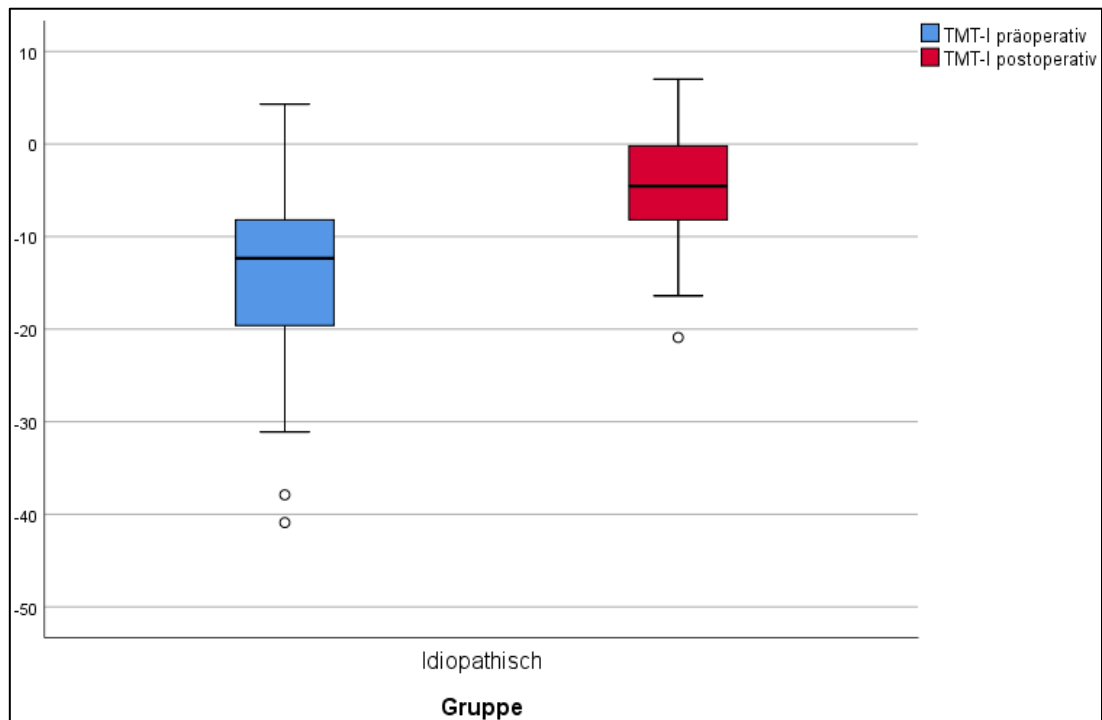


Abbildung 9.20: TMT-I-Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe

9.1.6.2 Calcaneus-Boden-Winkel

Der Mittelwert des präoperativen Calcaneus-Boden-Winkels belief sich auf $14,5 \pm 4,5^\circ$. Dabei war der kleinste Winkel $4,8^\circ$ und der größte $26,6^\circ$.

Postoperativ betrug der Calcaneus-Boden-Winkel im Mittel $15 \pm 4,5^\circ$, wobei der niedrigste Wert $4,8^\circ$ war, während der höchste Wert mit $28,8^\circ$ etwas höher ausfiel.

Der Mittelwert änderte sich somit von prä- auf postoperativ um $0,5 \pm 2,3^\circ$. Trotz dieser eher geringen Änderung, war auch diese signifikant.

Idiopathisch: Calcaneus-Boden - Statistik bei gepaarten Stichproben					
Paaren 1		Mittelwert	N	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
	Calcaneus-Boden postoperativ	15,011	82	4,5364	,5010
	Calcaneus-Boden präoperativ	14,499	82	4,5024	,4972

Idiopathisch: Calcaneus-Boden - t-Test bei gepaarten Stichproben									
Paaren 1		Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		T	df	Sig. (2-seitig)
					Untere	Obere			
	Calcaneus-Boden postoperativ - Calcaneus-Boden präoperativ	,5122	2,2642	,2500	,0147	1,0097	2,048	81	,044

Abbildung 9.21: Calcaneus-Boden-Winkel Statistik - idiopathische Gruppe

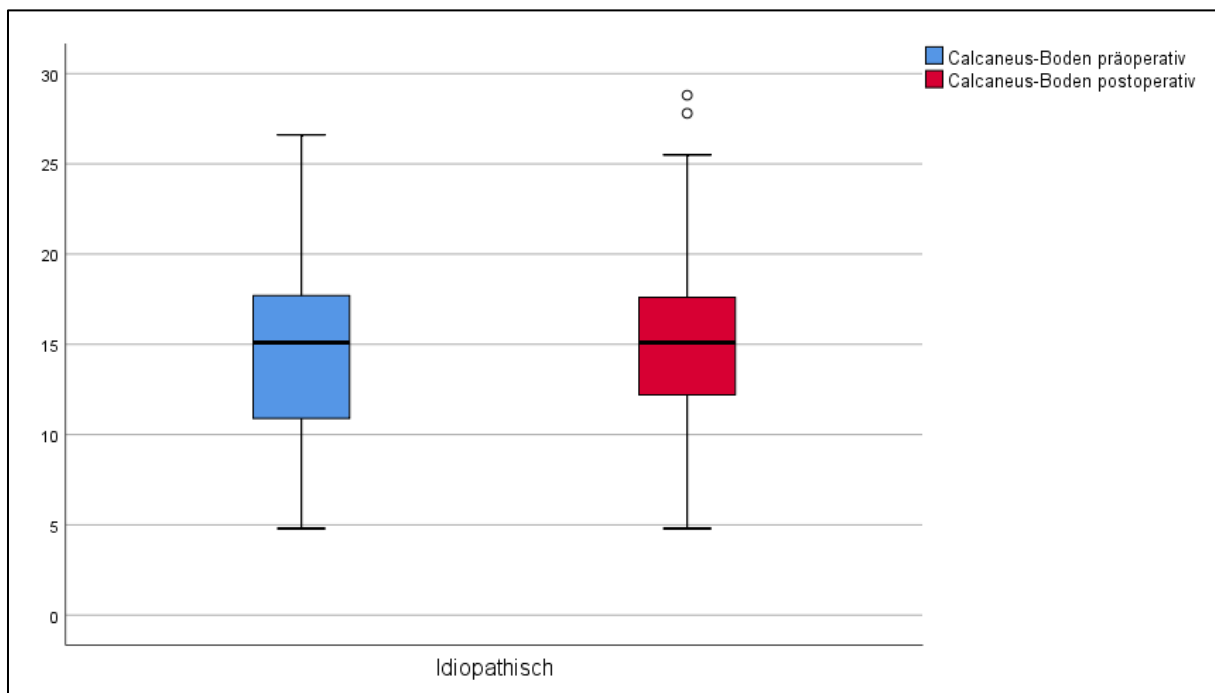


Abbildung 9.22: Calcaneus-Boden-Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe

9.1.6.3 Talo-Calcaneärer Winkel

Präoperativ zeigte sich beim talo-calcaneären Winkel ein mittlerer Winkel von $48,3 \pm 6,5^\circ$. Dabei bewegten sich die Werte zwischen $29,4^\circ$ und $68,8^\circ$.

Der postoperative Mittelwert belief sich auf $41,7 \pm 5,3^\circ$, bei einem Tiefstwert von $26,6^\circ$ und einem Höchstwert von $53,9^\circ$.

Durch die Arthrorise wurde eine Änderung des Talo-Calcaneären Winkels um $6,6 \pm 5,3^\circ$ erreicht. Die Signifikanztestung dieses Zusammenhangs fiel positiv aus.

Idiopathisch: Talo-Calcaneus - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Talo-Calcaneus postoperativ	41,744	82	5,3023	,5855
	Talo-Calcaneus präoperativ	48,335	82	6,4908	,7168

Idiopathisch: Talo-Calcaneus - t-Test bei gepaarten Stichproben									
Paaren 1	Talo-Calcaneus postoperativ - Talo- Calcaneus präoperativ	Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		T	df	Sig. (2-seitig)
					95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
		-6,5915	5,3344	,5891	-7,7636	-5,4194	-11,189	81	,000

Abbildung 9.23: Talo-Calcaneärer Winkel Statistik - idiopathische Gruppe

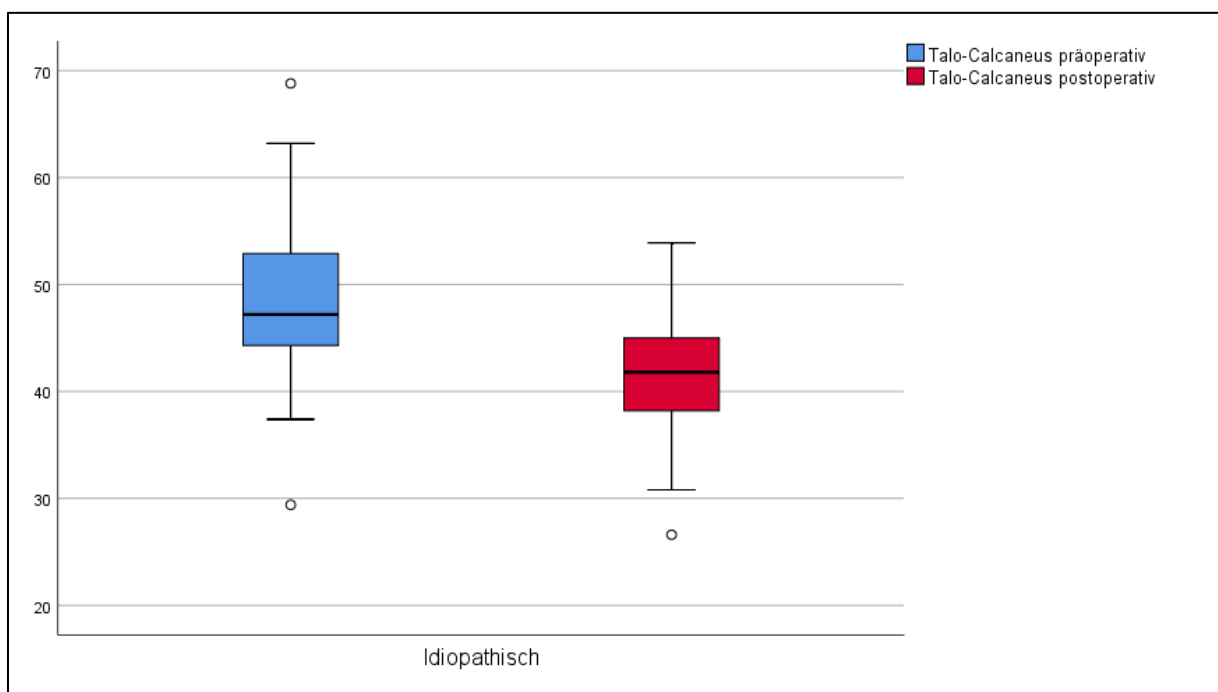


Abbildung 9.24: Talo-Calcaneärer Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe

9.1.7 Winkel im anterior-posterioren Strahlengang

9.1.7.1 Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel

Der TMTB-I-Winkel aus dem anterior-posterioren Strahlengang ist der zweite Winkel, der für die Erstellung des TMT-Index erforderlich ist. In der Gruppe mit idiopathischem Pes planovalgus zeigte sich präoperativ ein Durchschnittswinkel von $-19 \pm 10,5^\circ$. Der kleinste Winkel war dabei $-42,9^\circ$ und der größte war $6,7^\circ$.

Postoperativ war der Mittelwert für den TMTB-I-Winkel $-6,7 \pm 8,4^\circ$ mit Werten zwischen $-25,3^\circ$ und 14° .

Daraus ergab sich eine Veränderung des Winkels um $12,3 \pm 10,8^\circ$, die ebenfalls signifikant war.

Idiopathisch: TMTB-I - Statistik bei gepaarten Stichproben					
Paaren 1		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
	TMT-B-I postoperativ	-6,690	82	8,4031	,9280
	TMT-B-I präoperativ	-19,017	82	10,5046	1,1600

Idiopathisch: TMTB-I - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen							
Paaren 1		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)
					Untere	Obere			
	TMT-B-I postoperativ - TMT-B-I präoperativ	12,3268	10,8025	1,1929	9,9533	14,7004	10,333	81	,000

Abbildung 9.25: TMTB-I-Winkel Statistik - idiopathische Gruppe

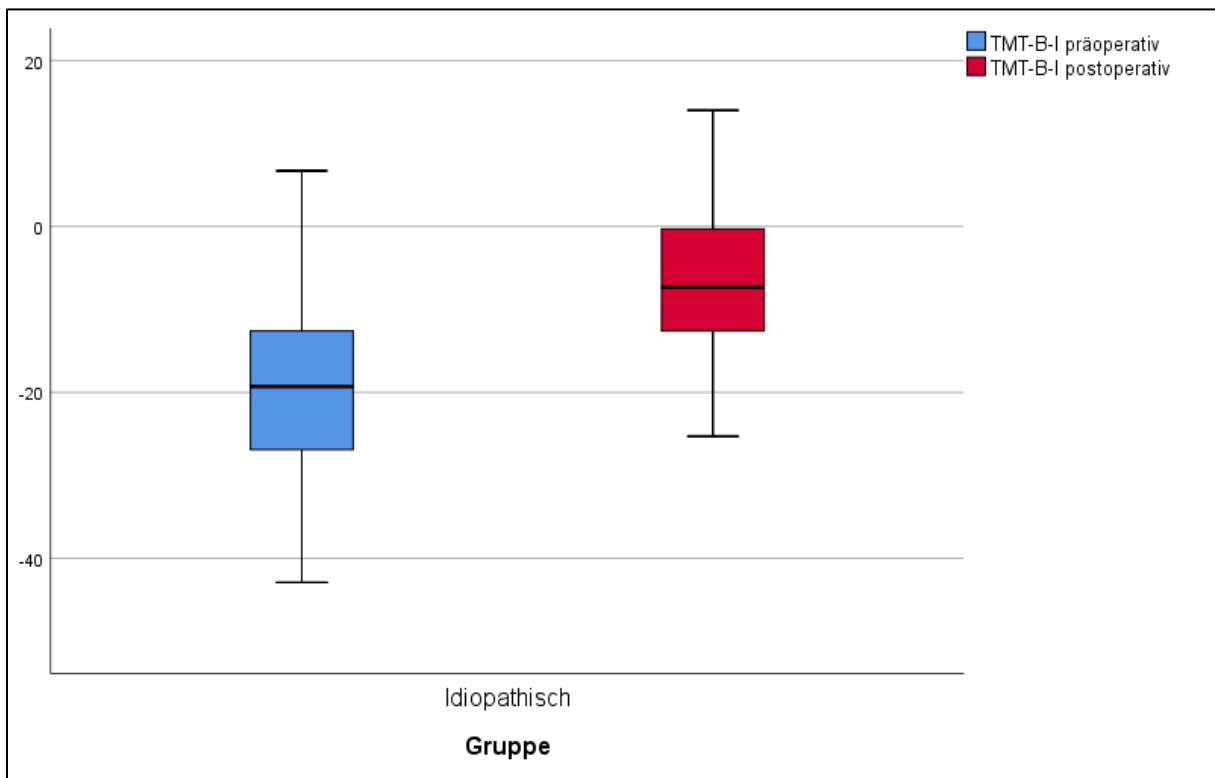


Abbildung 9.26: TMTB-I-Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe

9.1.7.2 Talonavicular coverage angle

Der zweite Winkel, der im a.p. Strahlengang ausgemessen wurde, war der talonavicular coverage angle. In den präoperativen Röntgenbildern zeigte sich ein mittlerer Winkel von $13,3 \pm 10,6^\circ$. Dabei war der niedrigste Wert $-11,4^\circ$ und der größte $43,3^\circ$.

Postoperativ ließ sich ein Mittelwert von $5 \pm 7,5^\circ$ bei einer Wertespannweite von $-13,9^\circ$ bis $20,6^\circ$ bestimmen.

Die Differenz der beiden Mittelwerte belief sich auf $8,3 \pm 9,8^\circ$. Dieser Unterschied lag in einem signifikanten Bereich.

Idiopathisch: Talonaviculare Coverage - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Talonaviculare Coverage postoperativ	4,974	82	7,4025	,8175
	Talonaviculare Coverage präoperativ	13,311	82	10,5785	1,1682

Idiopathisch: Talonaviculare Coverage - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen							
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)
					Untere	Obere			
Paaren 1	Talonaviculare Coverage postoperativ - Talonaviculare Coverage präoperativ	-8,3366	9,7572	1,0775	-10,4805	-6,1927	-7,737	81	,000

Abbildung 9.27: talonaviculare coverage angle Statistik - idiopathische Gruppe

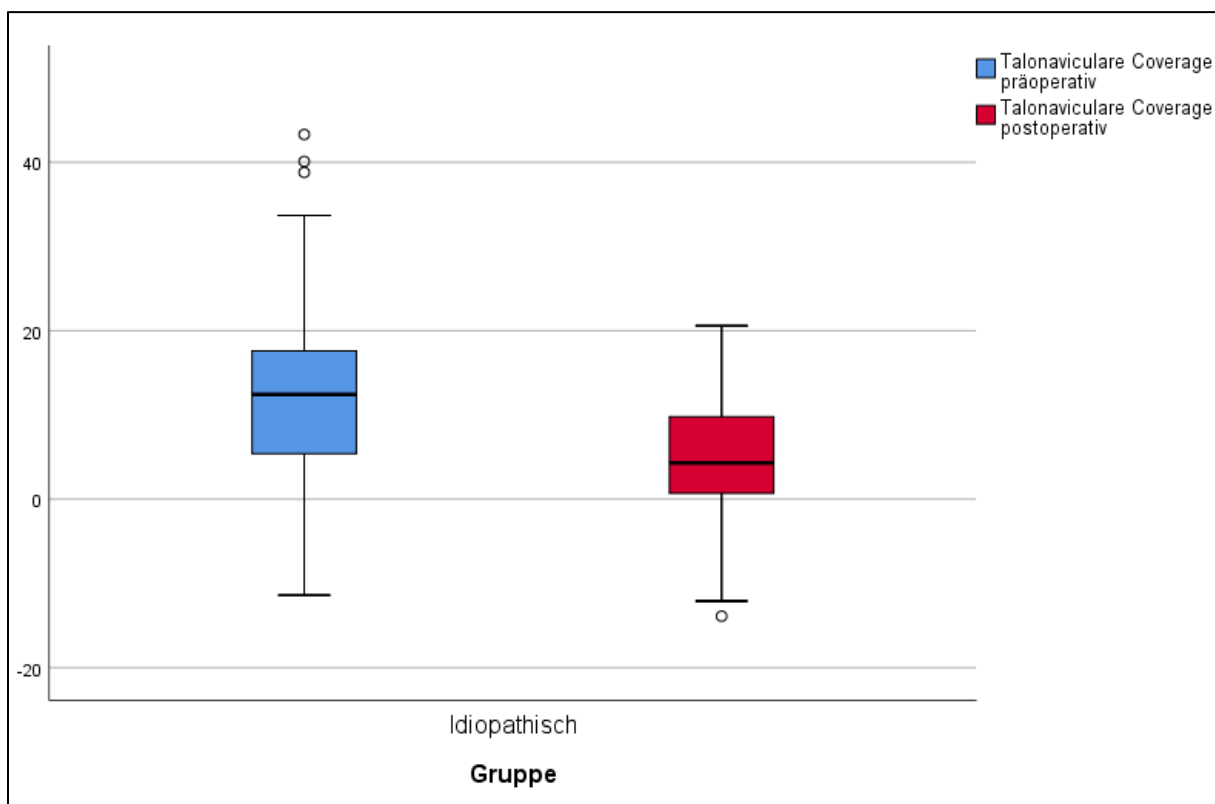


Abbildung 9.28: talonaviculare coverage angle Diagramm - idiopathische Gruppe

9.1.8 Talo-Metatarsal-Index

Für die präoperativen Werte ergab sich ein mittlerer TMT-Index von $-32,9 \pm 15,6^\circ$. Die errechneten Werte bewegten sich in einem Bereich von $-72,2^\circ$ bis $1,8^\circ$.

Für die postoperativen Werte zeigte sich ein Mittelwert von $-11,1 \pm 11,6^\circ$. Der kleinste Indexwert war $-41,6^\circ$ und der größte war 13° .

Die durchschnittliche Änderung des TMT-Index war $21,7 \pm 13,6^\circ$ und sie war signifikant. Die kleinste Änderung war $-7,6^\circ$ und die größte war $54,4^\circ$.

Idiopathisch: TMT-Index - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	TMT-Index postoperativ	-11,128	82	11,6174	1,2829
	TMT-Index präoperativ	-32,876	82	15,5993	1,7227

Idiopathisch: TMT-Index - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	TMT-Index postoperativ - TMT-Index präoperativ	21,7476	13,5719	1,4988	18,7655	24,7296	14,510	81	,000

Abbildung 9.29: TMT-Index Statistik - idiopathische Gruppe

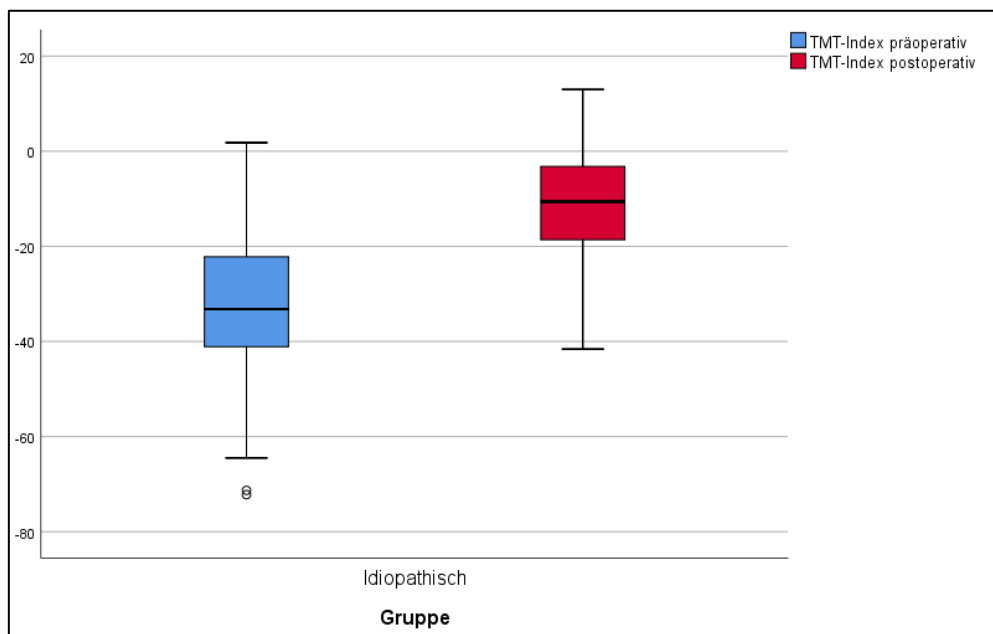


Abbildung 9.30: TMT-Index Diagramm - idiopathische Gruppe

9.2 Auswertung der Neurogenen Patientengruppe

In die Gruppe des neurogenen Pes planovalgus wurden 28 Fälle eingeschlossen. Diese wurden anschließend auf verschiedene Merkmale untersucht, welche das Operationsergebnis abbilden können.

9.2.1 Geschlecht

Von den 28 Fällen gehörten 17 (61%) Füße zu männlichen Patienten und 11 (39%) Füße zu weiblichen Patienten.

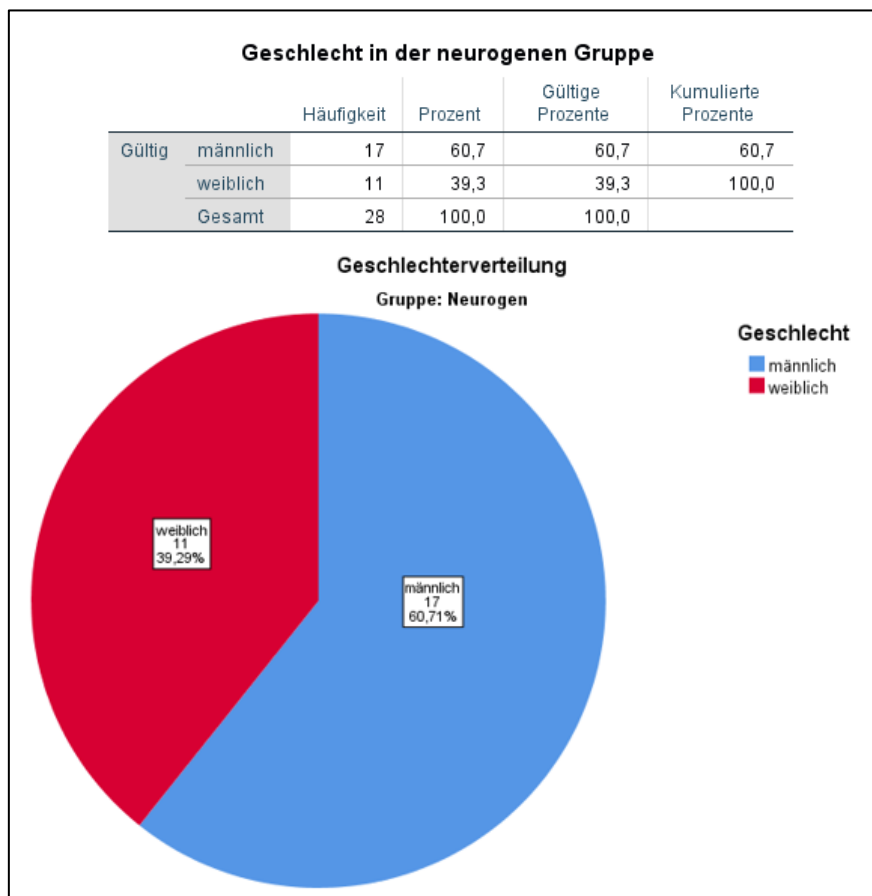


Abbildung 9.31: Geschlechterverteilung - neurogene Gruppe

Untersucht man innerhalb der neurogenen Gruppe die Fälle nach geschlechtsbezogenen Unterschieden, zeigen sich keine signifikanten.

Bei der Behandlung von Fällen männlichen Geschlechts waren diese im Schnitt $13,1 \pm 4,1$ Jahre alt und damit älter als die weiblichen Vertreter der Gruppe mit einem Durchschnittsalter von $11,3 \pm 1,6$ Jahren. Der Altersunterschied zwischen den Geschlechtern war nicht signifikant.

Neurogen: Statistiken				Neurogen: Alter bei OP nach Geschlecht					
Alter bei OP									
männlich	N	Gültig	17	Geschlecht		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
		Fehlend	0	männlich	Gültig	7	1	5,9	5,9
		Mittelwert	13,12			9	2	11,8	17,6
		Median	14,00			10	3	17,6	35,3
		Std.-Abweichung	4,136			12	2	11,8	47,1
		Minimum	7			14	6	35,3	82,4
		Maximum	22			16	1	5,9	88,2
weiblich	N	Gültig	11			22	2	11,8	100,0
		Fehlend	0			Gesamt	17	100,0	
		Mittelwert	11,27	weiblich	Gültig	10	5	45,5	45,5
		Median	11,00			11	2	18,2	63,6
		Std.-Abweichung	1,555			12	2	18,2	81,8
		Minimum	10			14	2	18,2	100,0
		Maximum	14			Gesamt	11	100,0	100,0

Abbildung 9.32: Altersverteilung nach Geschlecht - neurogene Gruppe

Neurogen: Richtungsmaße			
			Wert
Nominal- bzgl.	Eta	Alter bei OP abhängig	,266
Intervallmaß		Geschlecht abhängig	,587

Neurogen: Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: Alter bei OP					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	22,732 ^a	1	22,732	1,984	,171
Konstanter Term	3973,018	1	3973,018	346,701	,000
Geschlecht	22,732	1	22,732	1,984	,171
Fehler	297,947	26	11,459		
Gesamt	4621,000	28			
Korrigierte Gesamtvariation	320,679	27			

a. R-Quadrat = ,071 (korrigiertes R-Quadrat = ,035)

Abbildung 9.33: Eta-Koeffizient Alter und Geschlecht - neurogene Gruppe

In Bezug auf die verwendete Implantatgröße lag der Median bei den Füßen weiblicher Patienten bei 11 und bei männlichen bei 10. Dieser Unterschied in der Implantatgröße war nicht signifikant.

Neurogen: Statistiken				Neurogen: Implantatgröße nach Geschlecht						
Implantatgröße				Geschlecht	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente		
männlich	N	Gültig	17							
		Fehlend	0	männlich	Gültig	9	3	17,6	17,6	17,6
		Mittelwert	10,18			10	9	52,9	52,9	70,6
		Median	10,00			11	4	23,5	23,5	94,1
		Std.-Abweichung	,809			12	1	5,9	5,9	100,0
		Minimum	9			Gesamt	17	100,0	100,0	
		Maximum	12							
weiblich	N	Gültig	11	weiblich	Gültig	9	1	9,1	9,1	9,1
		Fehlend	0			10	3	27,3	27,3	36,4
		Mittelwert	11,00			11	2	18,2	18,2	54,5
		Median	11,00			12	5	45,5	45,5	100,0
		Std.-Abweichung	1,095			Gesamt	11	100,0	100,0	
		Minimum	9							
		Maximum	12							

Abbildung 9.34: Verteilung Implantatgröße nach Geschlecht - neurogene Gruppe

Neurogen: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Geschlecht						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2- seitig)	Exakte Signifikanz (1- seitig)	Punkt- Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	6,339 ^a	3	,096	,130		
Likelihood-Quotient	6,481	3	,090	,162		
Exakter Test nach Fisher	5,869			,136		
Zusammenhang linear-mit-linear	4,529 ^b	1	,033	,050	,026	,017
Anzahl der gültigen Fälle	28					

a. 7 Zellen (87,5%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 1,57.

b. Die standardisierte Statistik ist 2,128.

Abbildung 9.35: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Geschlecht - neurogene Gruppe. Bei erwarteter Häufigkeit kleiner 5 gilt: Exakter Test nach Fisher.

Bei der Komplikationsrate abhängig vom Geschlecht zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Es traten bei 17 Fällen männlichen Geschlechts 7 Komplikationen auf, wobei 4 davon zu einer Explantation des Sinus-tarsi-Spacers führten. Bei den Operationen weiblicher Patienten kam es im Verlauf zu 2 Komplikationen, wobei keine Metallentfernung notwendig wurde.

Neurogen: Komplikationen nach Geschlecht						
Geschlecht			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
männlich	Gültig	keine	10	58,8	58,8	58,8
		ohne ME	3	17,6	17,6	76,5
		mit ME	4	23,5	23,5	100,0
		Gesamt	17	100,0	100,0	
weiblich	Gültig	keine	9	81,8	81,8	81,8
		ohne ME	2	18,2	18,2	100,0
		Gesamt	11	100,0	100,0	

Abbildung 9.36: Komplikationen nach Geschlecht - neurogene Gruppe

Neurogen: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen nach Geschlecht					
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	1,619 ^a	1	,203		
Kontinuitätskorrektur ^b	,736	1	,391		
Likelihood-Quotient	1,699	1	,192		
Exakter Test nach Fisher				,249	,197
Zusammenhang linear-mit-linear	1,561	1	,211		
Anzahl der gültigen Fälle	28				

a. 1 Zellen (25,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 3,54.

Neurogen: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen mit ME nach Geschlecht					
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	3,020 ^a	1	,082		
Kontinuitätskorrektur ^b	1,404	1	,236		
Likelihood-Quotient	4,416	1	,036		
Exakter Test nach Fisher				,132	,116
Zusammenhang linear-mit-linear	2,912	1	,088		
Anzahl der gültigen Fälle	28				

a. 2 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 1,57.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

Abbildung 9.37: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen nach Geschlecht - neurogene Gruppe. Bei erwarteter Häufigkeit kleiner 5 gilt: Exakter Test nach Fisher.

9.2.2 Alter bei OP

In der Gruppe mit ICP bedingtem Knick-Senkfuß war das Durchschnittsalter am Tag der Operation $12,4 \pm 3,4$ Jahre. Das Alter der Patienten bewegte sich in einem Bereich von 7 bis 22 Jahren.

Neurogen: Statistiken			Neurogen: Alter bei OP			
			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Alter bei OP						
N	Gültig	28	7	3,6	3,6	3,6
	Fehlend	0	9	7,1	7,1	10,7
Mittelwert		12,39	10	28,6	28,6	39,3
Median		12,00	11	7,1	7,1	46,4
Std.-Abweichung		3,446	12	14,3	14,3	60,7
Minimum		7	14	28,6	28,6	89,3
Maximum		22	16	3,6	3,6	92,9
			22	7,1	7,1	100,0
			Gesamt	28	100,0	100,0

Abbildung 9.38: Altersverteilung - neurogene Gruppe

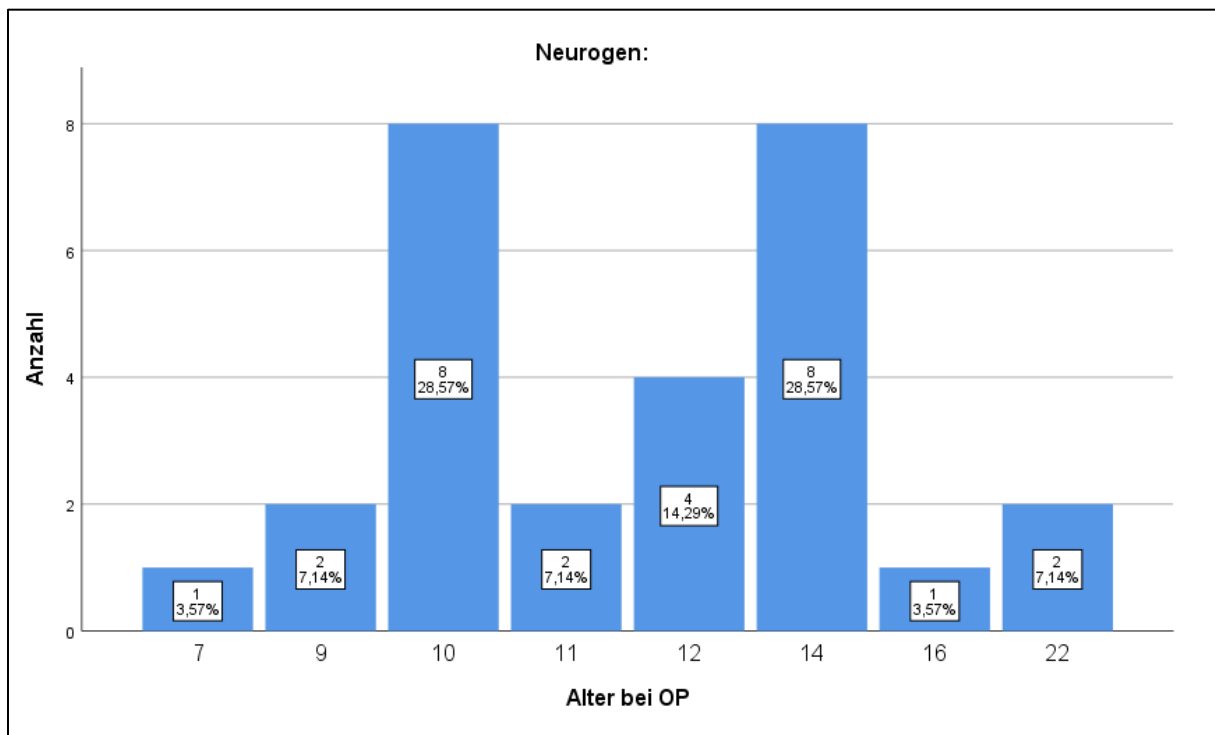


Abbildung 9.39: Altersverteilung Diagramm - neurogene Gruppe

In der neurogenen Gruppe fand sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Alter und der Größe der genutzten Implantate. Ebenso war der Zusammenhang zwischen Alter und TMT-Index nicht signifikant.

Neurogen: Korrelationen Alter bei OP und Implantatgröße				
		Alter bei OP		Implantatgröße
Kendall-Tau-b	Alter bei OP	Korrelationskoeffizient	1,000	,122
		Sig. (2-seitig)	.	,439
		N	28	28
	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	,122	1,000
		Sig. (2-seitig)	,439	.
		N	28	28
Spearman-Rho	Alter bei OP	Korrelationskoeffizient	1,000	,149
		Sig. (2-seitig)	.	,449
		N	28	28
	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	,149	1,000
		Sig. (2-seitig)	,449	.
		N	28	28

Abbildung 9.40: Korrelationen Alter und Implantatgröße - neurogene Gruppe

Neurogen: Korrelationen Alter bei OP und TMT-Index Änderung				
		Alter bei OP	TMT-Index Änderung	
Alter bei OP	Korrelation nach Pearson	1	-,332	
	Signifikanz (2-seitig)		,085	
	N	28	28	
TMT-Index Änderung	Korrelation nach Pearson	-,332	1	
	Signifikanz (2-seitig)	,085		
	N	28	28	

Abbildung 9.41: Korrelation Alter und Operationsergebnis

Es zeigten sich signifikante positive Korrelationen zwischen dem Alter bei OP und der Komplikationsrate, sowohl bei den Komplikationen mit Metallentfernung als auch bei denen ohne. Bei höherem Alter zeigten sich somit mehr Komplikationen.

Neurogen: Richtungsmaße Alter bei OP und Komplikationen

			Wert
Nominal- bzgl. Intervallmaß	Eta	Alter bei OP abhängig	,462
		Komplikationen abhängig	,621

Neurogen: Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Alter bei OP

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	68,573 ^a	1	68,573	7,072	,013
Konstanter Term	4122,859	1	4122,859	425,197	,000
Komplikationen	68,573	1	68,573	7,072	,013
Fehler	252,105	26	9,696		
Gesamt	4621,000	28			
Korrigierte Gesamtvariation	320,679	27			

a. R-Quadrat = ,214 (korrigiertes R-Quadrat = ,184)

Abbildung 9.42: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen - neurogene Gruppe

Neurogen: Richtungsmaße Alter bei OP und Komplikation mit ME

			Wert
Nominal- bzgl. Intervallmaß	Eta	Alter bei OP abhängig	,616
		Komplikation mit ME abhängig	,863

Neurogen: Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Alter bei OP

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	121,720 ^a	1	121,720	15,906	,000
Konstanter Term	2891,720	1	2891,720	377,892	,000
Komplikation mit ME	121,720	1	121,720	15,906	,000
Fehler	198,958	26	7,652		
Gesamt	4621,000	28			
Korrigierte Gesamtvariation	320,679	27			

a. R-Quadrat = ,380 (korrigiertes R-Quadrat = ,356)

Abbildung 9.43: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen mit Metallentfernung - neurogene Gruppe

9.2.3 Implantatgröße

Bei der operativen Behandlung von neurogenen Knick-Senkfüßen wurden Sinus-tarsi-Spacer implantiert, welche im Median die Größe 10 hatten. Dabei handelte es sich um Implantate zwischen den Größen 9 und 12.

Neurogen: Statistiken			Neurogen: Implantatgröße			
Implantatgröße						
N	Gültig	28				
	Fehlend	0				
Mittelwert		10,50				
Median		10,00				
Std.-Abweichung		1,000				
Minimum		9				
Maximum		12				
	Gültig		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	9		4	14,3	14,3	14,3
	10		12	42,9	42,9	57,1
	11		6	21,4	21,4	78,6
	12		6	21,4	21,4	100,0
	Gesamt		28	100,0	100,0	

Abbildung 9.44: Implantatgröße - neurogene Gruppe

Sowohl die gesamte Komplikationsrate an sich als auch die Häufigkeit von Komplikationen mit Metallentfernung standen in keinem signifikanten Zusammenhang mit der Wahl der Implantatgröße. Ebenso blieb das Operationsergebnis unbeeinflusst von der Implantatgröße.

Neurogen: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Komplikationen						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	3,166 ^a	3	,367	,413		
Likelihood-Quotient	3,217	3	,359	,482		
Exakter Test nach Fisher	3,293			,394		
Zusammenhang linear-mit-linear	2,006 ^b	1	,157	,227	,114	,061
Anzahl der gültigen Fälle	28					
a. 7 Zellen (87,5%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 1,29.						
b. Die standardisierte Statistik ist 1,416.						
Neurogen: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Komplikationen mit ME						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	8,264 ^a	3	,041	,058		
Likelihood-Quotient	7,765	3	,051	,058		
Exakter Test nach Fisher	5,557			,080		
Zusammenhang linear-mit-linear	,292 ^b	1	,589	,794	,392	,181
Anzahl der gültigen Fälle	28					
a. 5 Zellen (62,5%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,57.						
b. Die standardisierte Statistik ist ,540.						

Abbildung 9.45: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Komplikationen - neurogene Gruppe. Bei erwarteter Häufigkeit kleiner 5 gilt: Exakter Test nach Fisher.

Neurogen: Korrelationen Implantatgröße und TMT-Indexänderung			Implantatgröße	TMT-Index Änderung
Kendall-Tau-b	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	1,000	,019
		Sig. (2-seitig)	.	,900
		N	28	28
	TMT-Index Änderung	Korrelationskoeffizient	,019	1,000
		Sig. (2-seitig)	,900	.
		N	28	28
Spearman-Rho	Implantatgröße	Korrelationskoeffizient	1,000	,001
		Sig. (2-seitig)	.	,995
		N	28	28
	TMT-Index Änderung	Korrelationskoeffizient	,001	1,000
		Sig. (2-seitig)	,995	.
		N	28	28

Abbildung 9.46: Korrelationen Implantatgröße und Operationsergebnis - neurogene Gruppe

9.2.4 Komplikationen

Insgesamt kamen auf die 28 operierten Fälle 9 Komplikationen, die mit der Operation in Zusammenhang standen, was einer Rate von 32% entspricht. Meist handelte es sich dabei um eine verstärkte Schmerzsymptomatik, 2 dieser Fälle resultierten aus einer Spacerdislokation. In 2 Fällen kam es trotz Implantat zu einem Rezidiv des Pes planovalgus. Zusätzlich kam es in einem Fall zu einer Überkorrektur im Sinne eines Hohlfußes.

Von den 9 Komplikationen waren 4 (44%) konservativ nicht therapierbar, sodass eine Explantation des Spacers notwendig wurde. Das bedeutet, dass in 14% der Fälle eine ungeplante Metallentfernung notwendig war.

Neurogen: Komplikationen					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine	19	67,9	67,9	67,9
	ohne ME	5	17,9	17,9	85,7
	mit ME	4	14,3	14,3	100,0
	Gesamt	28	100,0	100,0	

Abbildung 9.47: Komplikationsrate - neurogene Gruppe

9.2.5 Metallentfernung

In der neurogenen Gruppe wurden 4 Metallentfernungen auf Grund von Komplikationen durchgeführt. Geplante Explantationen ohne Komplikationen fanden keine statt.

9.2.6 Winkel im seitlichen Strahlengang

9.2.6.1 Talo-Metatarsale-I-Winkel

Im Zuge der Vermessung der Röntgenbilder ergab sich für den TMT-I-Winkel im seitlichen Strahlengang ein präoperativer Durchschnittswinkel von $-22,3 \pm 12,3^\circ$. Das Minimum lag derweil bei $-48,8^\circ$ und das Maximum bei $2,7^\circ$.

Postoperativ öffnete sich der TMT-I-Winkel im Mittel auf $-15 \pm 9,7^\circ$, wobei sich die Werte zwischen -38° und $1,2^\circ$ bewegten.

Damit ergibt sich eine operationsbedingte Änderung des Winkels um $7,3 \pm 12,5^\circ$, was einer signifikanten Veränderung entspricht.

Neurogen: TMT-I - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	TMT-I postoperativ	-15,039	28	9,7471	1,8420
	TMT-I präoperativ	-22,329	28	12,2587	2,3167

Neurogen: TMT-I - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen							
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)
					Untere	Obere			
Paaren 1	TMT-I postoperativ - TMT-I präoperativ	7,2893	12,4618	2,3551	2,4571	12,1215	3,095	27	,005

Abbildung 9.48: TMT-I-Winkel Statistik - neurogene Gruppe

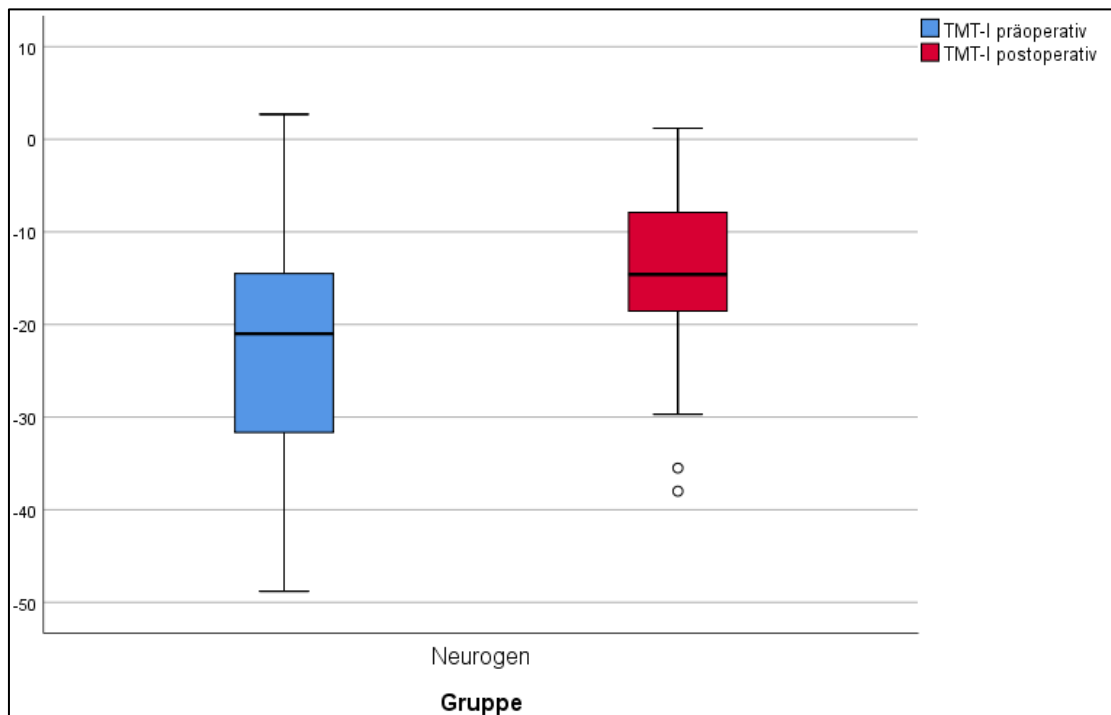


Abbildung 9.49: TMT-I-Winkel Diagramm - neurogene Gruppe

9.2.6.2 Calcaneus-Boden-Winkel

Der Calcaneus-Boden-Winkel belief sich präoperativ im Schnitt auf $10 \pm 10,4^\circ$. Der kleinste Winkel war $-18,3^\circ$ und der größte war $28,5^\circ$.

Postoperativ zeigte der Winkel einen durchschnittlichen Wert von $11,4 \pm 5^\circ$. Der kleinste Winkel hatte dabei ein Maß von $0,4^\circ$ und der größte eines von $22,3^\circ$.

Die durchschnittliche Korrektur betrug $1,4 \pm 7,3^\circ$. Dieses Ergebnis zeigte sich als nicht signifikant.

Neurogen: Calcaneus-Boden - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Calcaneus-Boden postoperativ	11,436	28	5,0553	,9554
	Calcaneus-Boden präoperativ	10,046	28	10,4069	1,9667

Neurogen: Calcaneus-Boden - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz Untere				Obere
Paaren 1	Calcaneus-Boden postoperativ - Calcaneus- Boden präoperativ	1,3893	7,2900	1,3777	-1,4375	4,2161	1,008	27	,322

Abbildung 9.50: Calcaneus-Boden-Winkel Statistik - neurogene Gruppe

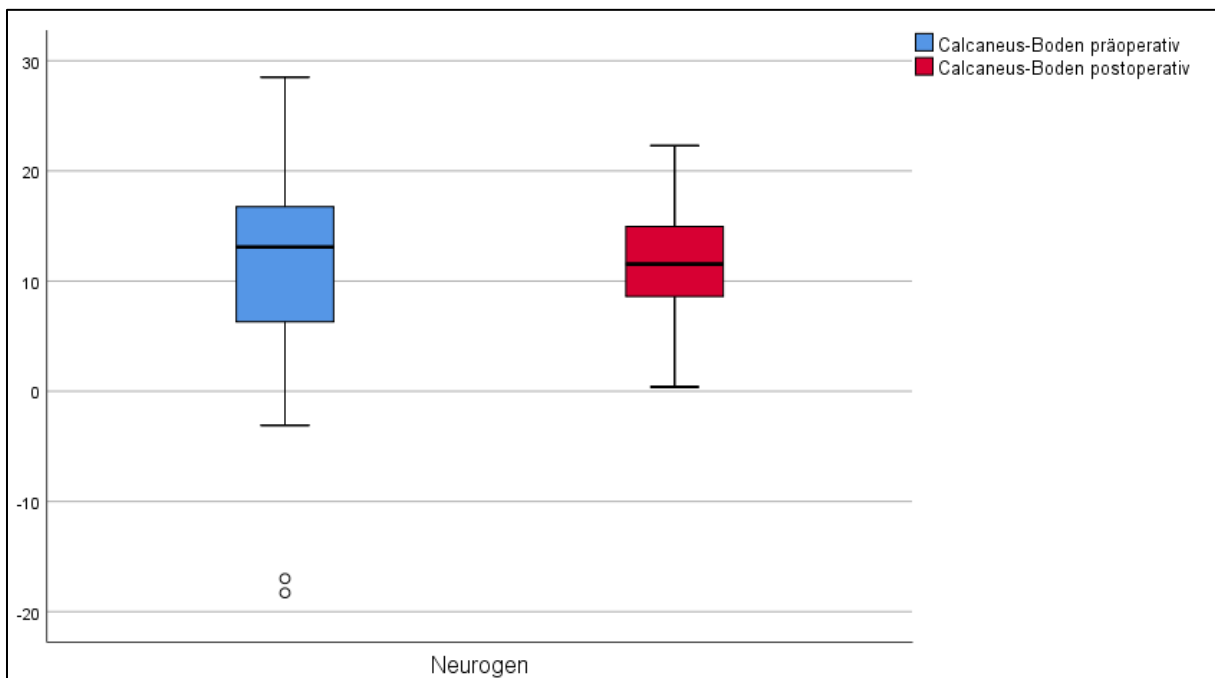


Abbildung 9.51: Calcaneus-Boden-Winkel Diagramm - neurogene Gruppe

9.2.6.3 Talo-Calcaneärer Winkel

Der Talo-Calcaneare Winkel zeigte in der neurogenen Gruppe einen durchschnittlichen Wert von $50 \pm 7,8^\circ$. Der niedrigste war $35,9^\circ$ und der höchste war $65,1^\circ$.

Bei der Ausmessung der postoperativen Bilder zeigte sich der Winkel im Schnitt mit $44,5 \pm 8,1^\circ$ in einem Bereich von $30,4^\circ$ bis 58° .

Es ließ sich eine signifikante Veränderung des Winkels um $5,6 \pm 6,6^\circ$ verzeichnen.

Neurogen: Talo-Calcaneus - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Talo-Calcaneus postoperativ	44,454	28	8,0672	1,5246
	Talo-Calcaneus präoperativ	50,032	28	7,8305	1,4798

Neurogen: Talo-Calcaneus - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz Untere				Obere
Paaren 1	Talo-Calcaneus postoperativ - Talo- Calcaneus präoperativ	-5,5786	6,5695	1,2415	-8,1259	-3,0312	-4,493	27	,000

Abbildung 9.52: Talo-Calcaneärer Winkel Statistik - neurogene Gruppe

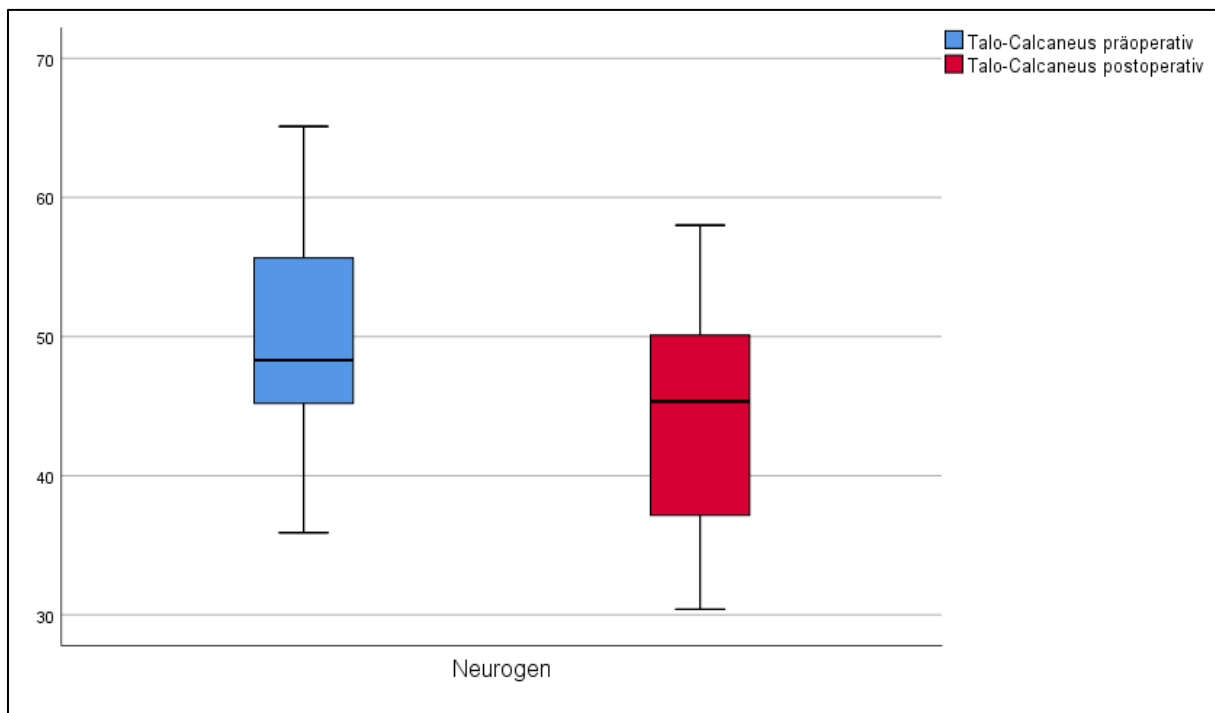


Abbildung 9.53: Talo-Calcaneärer Winkel Diagramm - neurogene Gruppe

9.2.7 Winkel im anterior-posterioren Strahlengang

9.2.7.1 Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel

Der TMTB-I-Winkel belief sich dabei auf den präoperativen Bildern auf einen Durchschnittswert von $-26,8 \pm 14^\circ$. Der kleinste Winkel war $-43,3^\circ$ und der größte war $11,5^\circ$.

Postoperativ öffnete sich der TMTB-I-Winkel auf durchschnittlich $-15,4 \pm 20,2^\circ$ mit einem Tiefstwert von $-37,2^\circ$ und einem Höchstwert von $59,3^\circ$. Bei letzterem handelt es sich jedoch um einen Ausreißer im Zuge der genannten Komplikation der Überkorrektur zum Hohlfuß. Der zweithöchste Wert lag bei $18,3^\circ$.

Im Schnitt entspricht das einer Änderung von $11,4 \pm 17,8^\circ$. Diese Korrektur zeigte sich als signifikant.

Neurogen: TMTB-I - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	TMT-B-I postoperativ	-15,411	28	20,2493	3,8268
	TMT-B-I präoperativ	-26,821	28	14,0018	2,6461

Neurogen: TMTB-I - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
Paaren 1	TMT-B-I postoperativ - TMT-B-I präoperativ	11,4107	17,8334	3,3702	Untere	Obere			
					4,4957	18,3258	3,386	27	,002

Abbildung 9.54: TMTB-I-Winkel Statistik - neurogene Gruppe

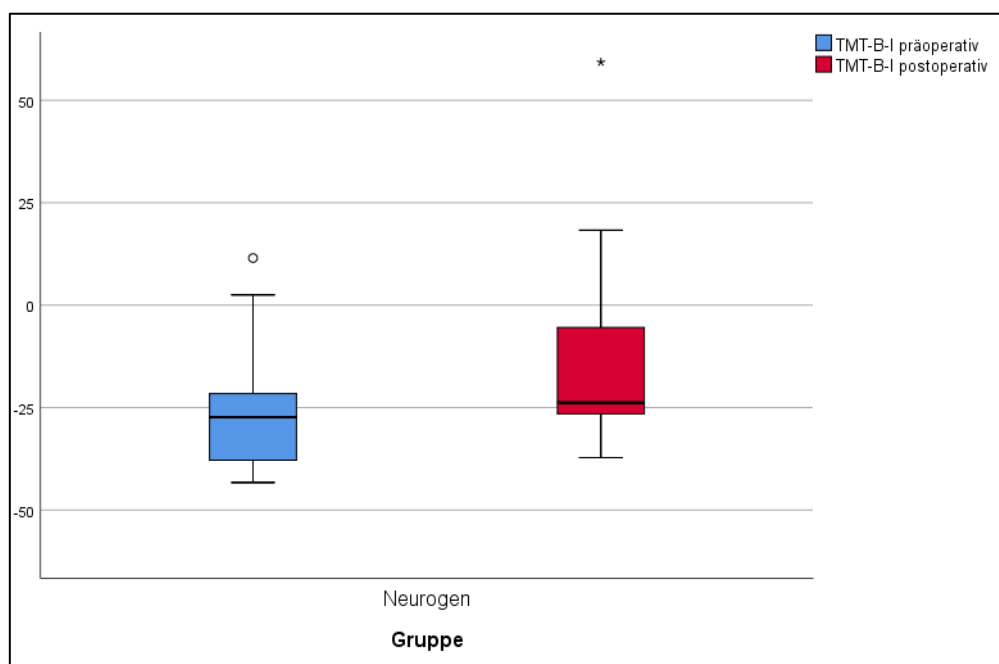


Abbildung 9.55: TMTB-I-Winkel Diagramm - neurogene Gruppe

9.2.7.2 Talonaviculare coverage angle

Der talonaviculare coverage angle zeigte im Mittel einen präoperativen Winkel von $20,7 \pm 14,3^\circ$. Der kleinste Winkel war $-6,4^\circ$ und der größte 51° .

Postoperativ wurde ein Durchschnittswert von $8,8 \pm 18,3^\circ$ ermittelt. Dabei verteilten sich die Werte über eine Spannweite von $-62,8^\circ$ bis $31,5^\circ$. Bei dem niedrigsten Wert handelt es sich um den Ausreißer im Zuge des überkorrigierten Hohlfußes. Der zweitniedrigste Wert war -21° .

Dies entspricht einer signifikanten mittleren Korrektur von $11,9 \pm 17,8^\circ$.

Neurogen: Talonaviculare Coverage - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Talonaviculare Coverage postoperativ	8,796	28	18,3286	3,4638
	Talonaviculare Coverage präoperativ	20,686	28	14,2775	2,6982

Neurogen: Talonaviculare Coverage - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		T	df	Sig. (2-seitig)
					95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	Talonaviculare Coverage postoperativ - Talonaviculare Coverage präoperativ	-11,8893	17,7835	3,3608	-18,7850	-4,9936	-3,538	27	,001

Abbildung 9.56: talonaviculare coverage angle Statistik - neurogene Gruppe

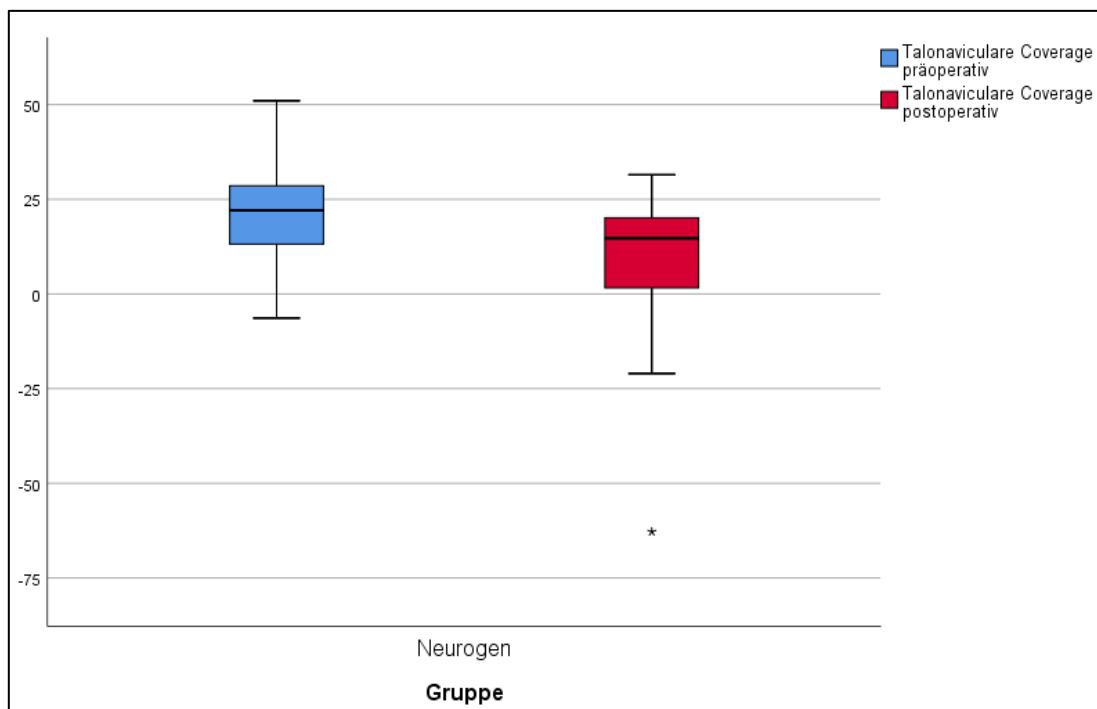


Abbildung 9.57: talonaviculare coverage angle Diagramm - neurogene Gruppe

9.2.8 Talo-Metatarsal-Index

Der präoperative Mittelwert des TMT-Index belief sich auf $-49,2 \pm 21,5^\circ$. Dabei war der niedrigste Indexwert $-82,9^\circ$ und der höchste $-4,7^\circ$.

Der postoperative Durchschnittswert war $-30,5 \pm 26,6^\circ$ mit einem untersten Wert von -68° und einem Höchstwert von $60,5^\circ$. Letzterer wurde wieder von bereits genanntem Ausreißer dargestellt. Der zweithöchste Wert für den TMT-Index war $13,5^\circ$.

Daraus ergibt sich eine Veränderung des Index um durchschnittlich $18,7 \pm 23,2^\circ$. Die größte Korrektur war $74,4^\circ$ im Zuge des Hohlfußes und die Kleinste -12° . Auch diese Änderung war signifikant.

Neurogen: TMT-Index - Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	TMT-Index postoperativ	-30,450	28	26,5918	5,0254
	TMT-Index präoperativ	-49,150	28	21,5465	4,0719

Neurogen: TMT-Index - t-Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz Untere				Obere
Paaren 1	TMT-Index postoperativ - TMT-Index präoperativ	18,7000	23,1886	4,3822	9,7084	27,6916	4,267	27	,000

Abbildung 9.58: TMT-Index Statistik - neurogene Gruppe

9.3 Vergleich zwischen den Gruppen

Ziel der Studie war es, zu überprüfen, ob die subtalare Arthrorise als Therapieoption für neurogene Knick-Senkfüße in Betracht gezogen werden kann. Dafür sollte untersucht werden, ob sich die Ergebnisse bei ICP Patienten signifikant von denen bei idiopathischen Pes planovalgus, bei dem dieses Verfahren bereits etabliert ist, unterscheiden.

9.3.1 Talo-Metatarsal-Index

Als primärer Endpunkt wurde der TMT-Index nach Hamel und Kinast festgelegt. Er vermag es, die Fehlstellung des Fußes in zwei Ebenen zusammenzufassen und in einer Zahl darzustellen. Da sich dieser Wert mit der Operation jedoch änderte, wurde die Änderung des TMT-Index von prä- auf postoperativ zur Darstellung des Operationserfolges gewählt.

In der Gruppe mit idiopathischem Pes planovalgus änderte sich der TMT-Index von $-32,9 \pm 15,6^\circ$ auf $-11,1 \pm 11,6^\circ$, also um $21,7 \pm 13,6^\circ$. In der neurogenen Gruppe änderte sich der präoperative Wert von $-49,2 \pm 21,5^\circ$ auf einen postoperativen Wert von $-30,5 \pm 26,6^\circ$ und somit fand eine durchschnittliche Änderung um $18,7 \pm 23,2^\circ$ statt. Beide Änderungen waren innerhalb der Gruppen signifikant.

Beim Vergleich der TMT-Index-Änderung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen dargestellt werden.

Vergleich TMT-Index Gruppenstatistiken									
		Gruppe	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler r des Mittelwertes			
TMT-Index Änderung	Idiopathisch		82	21,748	13,5719	1,4988			
	Neurogen		28	18,700	23,1886	4,3822			

Vergleich TMT-Index: t-Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit			T-Test für die Mittelwertgleichheit					
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler r der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
TMT-Index Änderung	Varianzen sind gleich	14,678	,000	,843	108	,401	3,0476	3,6137	-4,1155	10,2106
	Varianzen sind nicht gleich			,658	33,533	,515	3,0476	4,6314	-6,3695	12,4646

Abbildung 9.59: Vergleich der Operationsergebnisse Statistik

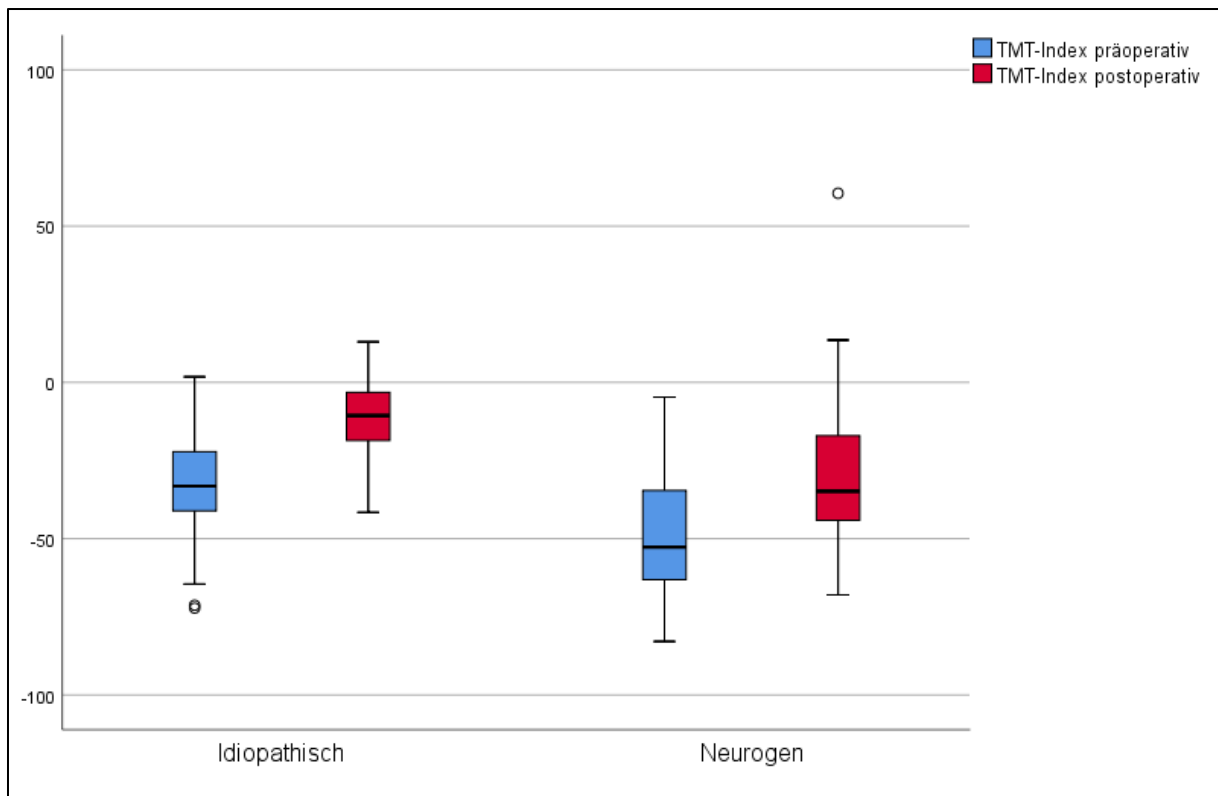


Abbildung 9.60: Vergleich der Operationsergebnisse Diagramm

9.3.2 Änderung der anderen Winkelmaße

Wie beim TMT-Index, wurden auch die Änderungen der anderen bestimmten Winkelmaße zwischen den Gruppen verglichen, um zu prüfen, ob es hier in bestimmten Teilbereichen einen Unterschied gibt.

Wie beim TMT-Index zeigten sich auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Vergleich: Winkeländerungen Gruppenstatistiken

	Gruppe	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
TMT-I-Änderung	Idiopathisch	82	9,421	5,8013	,6406
	Neurogen	28	7,289	12,4618	2,3551
Calcaneus-Boden Änderung	Idiopathisch	82	,512	2,2642	,2500
	Neurogen	28	1,389	7,2900	1,3777
Talo-Calcaneus Änderung	Idiopathisch	82	-6,591	5,3344	,5891
	Neurogen	28	-5,579	6,5695	1,2415
TMTB-I-Änderung	Idiopathisch	82	12,327	10,8025	1,1929
	Neurogen	28	11,411	17,8334	3,3702
Talonaviculare Coverage Änderung	Idiopathisch	82	-8,337	9,7572	1,0775
	Neurogen	28	-11,889	17,7835	3,3608

Vergleich: Winkeländerungen t-Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
TMT-I-Änderung	Varianzen sind gleich	32,828	,000	1,217	108	,226	2,1314	1,7520	-1,3412	5,6041
	Varianzen sind nicht gleich			,873	31,087	,389	2,1314	2,4406	-2,8457	7,1086
Calcaneus-Boden Änderung	Varianzen sind gleich	31,947	,000	-,968	108	,335	-,8771	,9059	-2,6728	,9187
	Varianzen sind nicht gleich			-,626	28,798	,536	-,8771	1,4002	-3,7417	1,9875
Talo-Calcaneus Änderung	Varianzen sind gleich	1,558	,215	-,816	108	,416	-1,0129	1,2407	-3,4722	1,4464
	Varianzen sind nicht gleich			-,737	39,853	,465	-1,0129	1,3742	-3,7905	1,7648
TMTB-I-Änderung	Varianzen sind gleich	4,553	,035	,324	108	,747	,9161	2,8288	-4,6911	6,5233
	Varianzen sind nicht gleich			,256	34,012	,799	,9161	3,5751	-6,3493	8,1815
Talonaviculare Coverage Änderung	Varianzen sind gleich	6,155	,015	1,323	108	,189	3,5527	2,6849	-1,7692	8,8746
	Varianzen sind nicht gleich			1,007	32,721	,321	3,5527	3,5293	-3,6300	10,7354

Abbildung 9.61: Vergleich sekundäre Endpunkte Statistik

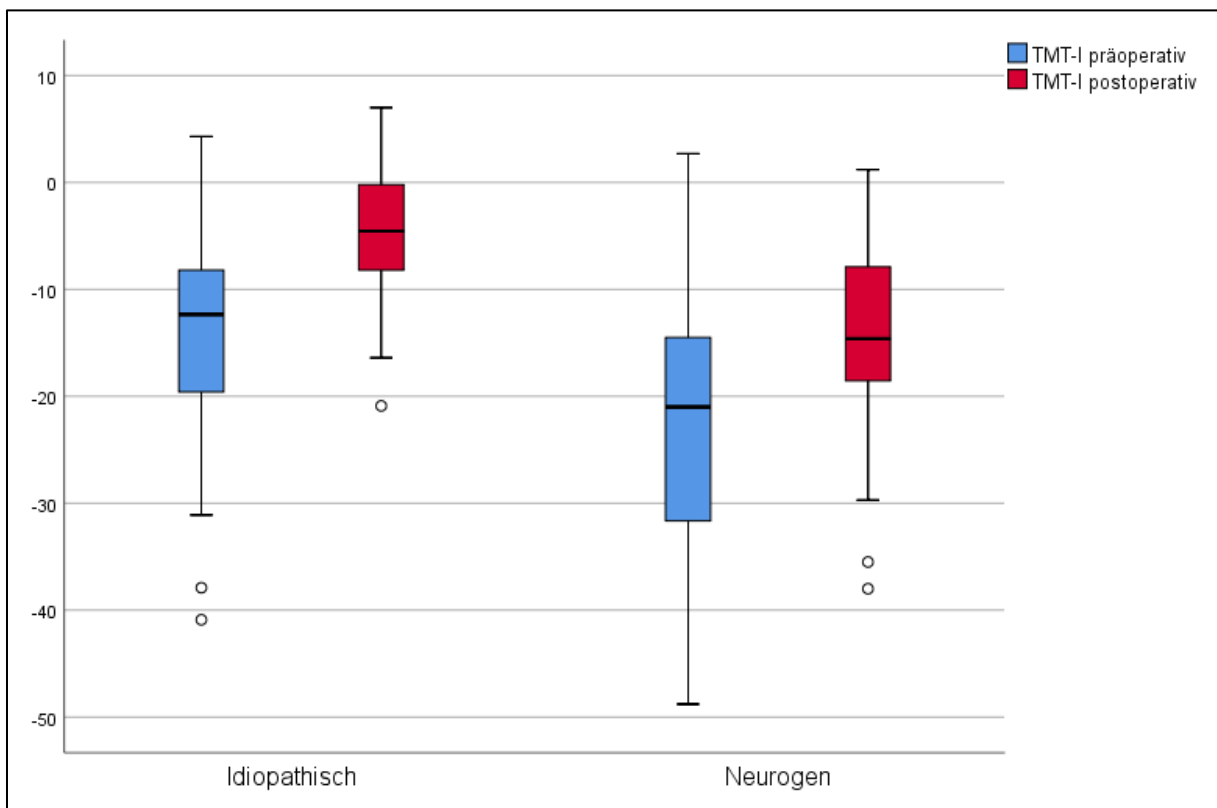


Abbildung 9.62: Vergleich TMT-I-Winkel Diagramm

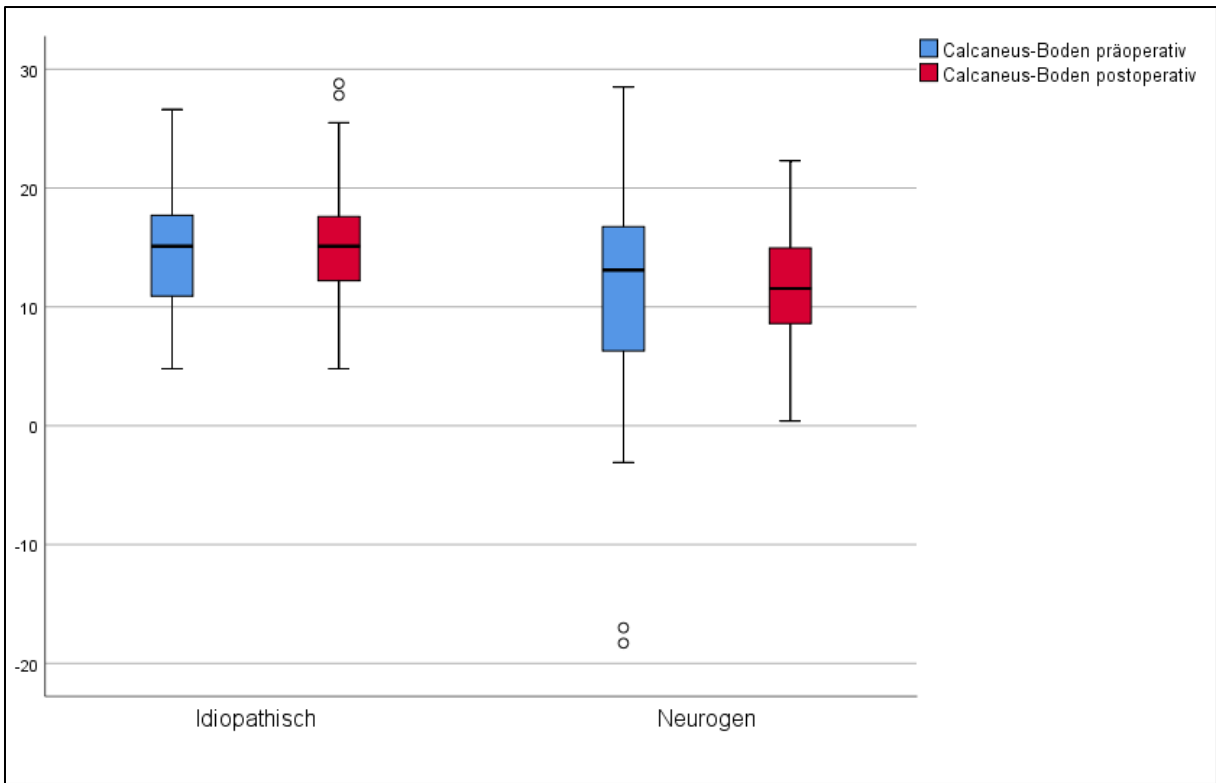


Abbildung 9.63: Vergleich Calcaneus-Boden-Winkel Diagramm

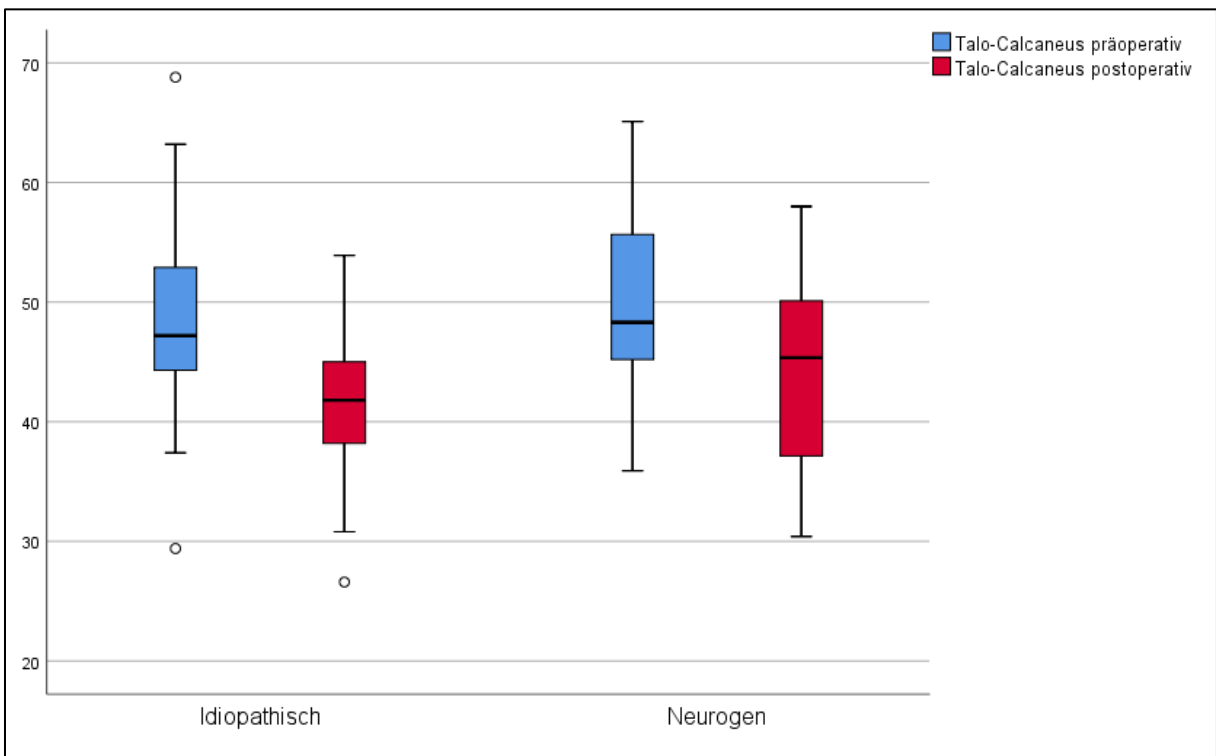


Abbildung 9.64: Vergleich Talo-Calcaneärer Winkel Diagramm

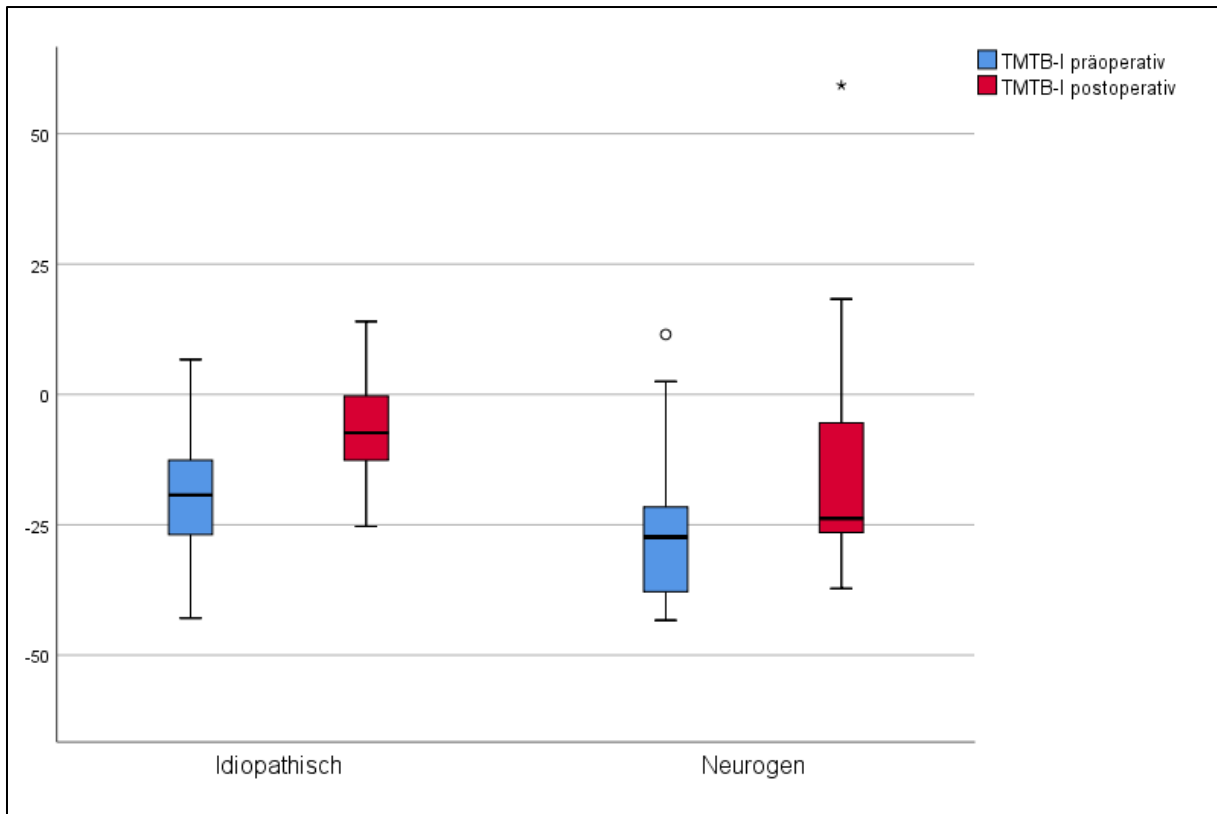


Abbildung 9.65: Vergleich TMTB-I-Winkel Diagramm

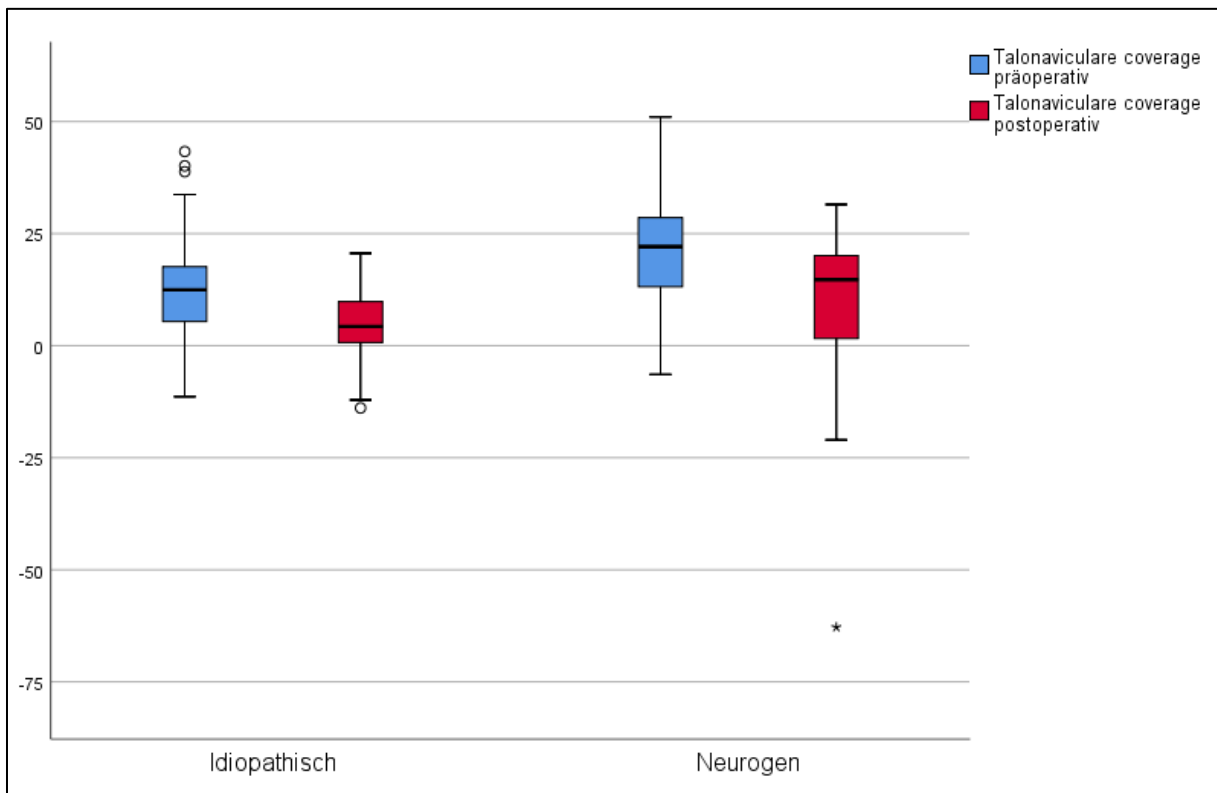


Abbildung 9.66: Vergleich talonavicular coverage angle Diagramm

9.3.3 Komplikationen

In der idiopathischen Gruppe waren es 25 Komplikationen auf 82 Fälle und damit eine Komplikationsrate von ungefähr 30%. In 7 Fällen davon war eine Metallentfernung notwendig.

Innerhalb der neurogenen Gruppe kamen 9 Komplikationen auf 28 Fälle. Dies entspricht einer Rate von 32%. Insgesamt erforderten 4 Fälle die Entfernung des Implantats.

Im Vergleich konnte kein Zusammenhang zwischen den Gruppen und den Komplikationen festgestellt werden. Die Häufigkeit von Komplikationen ist in keiner Gruppe signifikant höher.

Vergleich: Komplikationen nach Gruppen Kreuztabelle					
		Komplikationen			
		nein	ja	Gesamt	
Gruppe	Idiopathisch	Anzahl	57	25	82
		Erwartete Anzahl	56,7	25,3	82,0
	Neurogen	Anzahl	19	9	28
		Erwartete Anzahl	19,3	8,7	28,0
Gesamt		Anzahl	76	34	110
		Erwartete Anzahl	76,0	34,0	110,0

Vergleich: Chi-Quadrat-Tests für Komplikationen und Gruppen					
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	,027 ^a	1	,870		
Kontinuitätskorrektur ^b	,000	1	1,000		
Likelihood-Quotient	,027	1	,870		
Exakter Test nach Fisher				1,000	,523
Zusammenhang linear-mit-linear	,027	1	,871		
Anzahl der gültigen Fälle	110				

a. 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 8,65.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

Abbildung 9.67: Vergleich Komplikationen Statistik

10 Diskussion

Die subtalare Arthrorise gilt als etabliertes Verfahren bei der Behandlung des kindlichen idiopathischen Knick-Senkfußes. Trotz der unterschiedlichen Verfahren und Implantate können in der Literatur sehr gute Ergebnisse vorgefunden werden. (Vulcano et al., 2016)

Diese Arbeit versucht die Frage zu beantworten, ob dieses Verfahren auch als Therapie für den neurogenen Pes planovalgus geeignet sein könnte. In der Literatur wird dies auf Grund unterschiedlicher Ergebnisse teilweise kontrovers diskutiert. (Kubo et al., 2019)

10.1 Kontrollgruppe idiopathischer Pes planovalgus

Die Kontrollgruppe in dieser Arbeit waren Patienten, welche auf Grund eines symptomatischen idiopathischen Pes planovalgus mittels subtalärer Spacer-Arthrorise versorgt wurden. Eine Aufarbeitung der Ergebnisse innerhalb dieser Gruppe soll zeigen, ob sie eine geeignete Kontrollgruppe darstellt. Dies ist der Fall, wenn sich die Ergebnisse innerhalb der idiopathischen Gruppen mit denen in der Literatur decken. Hierfür ist ein Vergleich bezüglich der radiologischen Parameter und der Komplikationen zielführend.

Metcalfe et al. fassten mehrere Studien in einer Metaanalyse zur subtalaren Arthrorise zusammen und werteten auch die Veränderung der radiologischen Parameter aus. Die drei Winkel, die sowohl in unserer Arbeit als auch bei Metcalfe et al. bestimmt wurden, waren der Talo-Calcareare Winkel, der Calcaneus-Boden-Winkel und der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang. Der Talo-Calcareare Winkel verbesserte sich bei Metcalfe et al. von $40,5^\circ$ auf $33,7^\circ$, der Calcaneus-Boden-Winkel von $14,3^\circ$ auf $16,5^\circ$ und der Talo-Metatarsale-I-Winkel von -16° auf 0° . (Metcalfe et al., 2011) Auch Cao et al. untersuchten die Ergebnisse der subtalaren Arthrorise mittels Sinus-tarsi-Spacer. Neben den klinischen Parametern verbesserte sich bei ihnen die Fußform auch radiologisch. Zwei Winkel, die Cao et al. ebenso wie wir nutzten, waren der Talo-Metatarsale-I-Winkel und der Calcaneus-Boden-Winkel im seitlichen Strahlengang. Bei Cao et al. veränderte sich ersterer von präoperativen $19,6^\circ$ auf postoperative $4,2^\circ$ (Anmerkung: nach Definition des TMT-Index würden diese Werte mit einem negativen Vorzeichen versehen werden) und letzterer von $9,4^\circ$ auf $11,5^\circ$. (Cao et al., 2017) In dem Patientengut von Wang et al. änderte sich durch die subtalare Arthrorise unter anderem der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang von $-24,4^\circ$ auf $-5,3^\circ$, der Calcaneus-Boden-Winkel von $13,5^\circ$ auf $18,9^\circ$ und der talonaviculare coverage angle von $23,3^\circ$ auf $3,3^\circ$. (Wang et al., 2021) Der Talo-Calcareare Winkel änderte sich in unserer Kontrollgruppe von $48,3^\circ$ auf $41,7^\circ$, der Talometatarsale-I-Winkel von $-13,9^\circ$ auf $-4,4^\circ$ und der Calcaneus-Boden-Winkel änderte sich bei uns von $14,5^\circ$ auf 15° . Sowohl die Richtung der Korrektur als auch deren Ausmaß ist der genannten Literatur sehr ähnlich. Dasselbe gilt auch für den talonaviculare coverage angle, der sich bei uns von $13,3^\circ$ auf 5° verbessern ließ.

In der Arbeit, in der Hamel und Kinast den von ihnen entwickelten TMT-Index vorstellten, demonstrierten sie erste Anwendungserfahrungen mit diesem. Hierfür bestimmten sie für

unterschiedliche Patientengruppen den Index. In ihrer Gruppe mit Patienten ohne klinische Pes planovalgus Deformität belief sich der TMT-Index auf $-20,3^\circ$. In den beiden Gruppen mit kindlichem Knick-Senkfuß bestimmten sie Werte von $-50,7^\circ$ und $-51,5^\circ$. (Hamel und Kinast, 2006) Unter Anbetracht, dass die Normwerte für den Talo-Metatarsale-I-Winkel bei 0° bis -4° liegen und der Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel bei gleicher Gewichtung im Index auch dieselben Normwerte vorweisen sollte, dann sind TMT-Indexwerte von 0° bis -8° als rechnerische Normwerte anzusehen. Da Hamel und Kinast bei Füßen ohne Knick-Senkfuß jedoch Werte um -20° fanden, scheint der Normwert 0° bis -20° zu umfassen. Eine Änderung des TMT-Index in unserem Patientengut von $-32,9^\circ$ auf $-11,1^\circ$ in der idiopathischen Gruppe zeigt somit eine Veränderung zu den Normwerten an. Die Veränderung der radiologischen Parameter deckt sich mit denen aus der Literatur, welche eine signifikante Verbesserung der Fußstellung darlegt.

Bei einigen Patienten wurde falls notwendig eine zusätzliche Verlängerung der Wadenmuskulatur durchgeführt. Daher schließt sich die Überlegung an, inwieweit dies einen Einfluss auf das Korrekturergebnis nehmen kann. Wang et al. untersuchten diese Fragestellung, indem sie Arthrorisen mit und ohne Begleiteingriffe verglichen und sie konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Dies schließt einen Einfluss dieser nicht aus, zeigt aber, dass die Korrektur durch die Arthrorise selbst erreicht werden kann. (Wang et al., 2021)

Neben den radiologischen Werten ist auch ein Vergleich mit der Literatur bezüglich der Komplikationen sinnvoll. Doch auch andere Parameter sollten ausgewertet werden um mögliche Einflussgrößen, die ein Ergebnis verfälschen könnten, zu detektieren.

In der idiopathischen Gruppe zeigten sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede, wodurch geschlussfolgert werden kann, dass Patienten beider Geschlechter gleichermaßen für die Kontrollgruppe geeignet sind.

Das Alter der Patienten hatte einen Einfluss auf die Wahl der Spacergröße. Bei höherem Alter waren größere Implantate notwendig. Dies könnte eventuell dadurch erklärt werden, dass mit zunehmendem Alter ein Wachstum stattfindet und somit größere Implantate benötigt werden. Zusammenhänge zwischen dem Alter und dem radiologischen Parameter TMT-Index oder den Komplikationen fanden sich nicht.

Die Größe des Spacers zeigte im exakten Test nach Fisher einen Zusammenhang mit der Komplikationsrate. Bei Betrachtung der zugehörigen Kreuztabelle ließ sich keine gerichtete Korrelation ableiten, also dass es zu vermehrten Komplikationen kam, umso größer oder kleiner der Spacer war. Einzelne Spacergrößen führten zu mehr Komplikation als erwartet, ohne dass eine Tendenz in eine Richtung ersichtlich war. Somit ist eine klinische Relevanz dieses statistischen Zusammenhangs wahrscheinlich nicht gegeben. Ansonsten wäre eine Tendenz ablesbar. Des Weiteren hatte die Wahl des Spacers keinen Einfluss auf die Rate der Metallentfernungen und auch ein Zusammenhang der Änderung des TMT-Index mit den Komplikationen bestand nicht. Wang et al. untersuchten verschiedene Einflussfaktoren, um

Ursachen für Schmerzen zu finden. Dabei fanden sie, dass die Position des Implantates eine Rolle spielte, das Alter des Patienten, die Implantatgröße und die röntgenologischen Winkelmaße jedoch nicht. (Wang et al., 2021) Unsere Ergebnisse zum Zusammenhängen zwischen Komplikationsrate und Implantatgröße decken sich also mit der Literatur. Eine Prüfung der Lage des Spacers wurde in unserer Studie nicht durchgeführt.

Mit einer Rate von 10-40% ist der postoperative Sinus-tarsi-Schmerz die häufigste Komplikation der subtalaren Arthrorise, die in der Literatur beschrieben wird. Im Patientengut von Wang et al. litten 13% unter dieser Komplikation, wobei in einem Fall eine Metallentfernung notwendig wurde. (Wang et al., 2021) Die Komplikationsrate der idiopathischen Gruppe belief sich auf 30% und lag damit in dem genannten Bereich. Die Komplikationen waren vor allem Schmerzen, welche konservativ therapierbar waren. Metallentfernungen waren nur in 9% der Fälle notwendig.

Cook et al. untersuchten verschiedene Faktoren auf einen Zusammenhang mit Komplikationen, die zu einer Explantation des Spacers führten. Radiologisch zeigte der Talo-Metatarsale-I-Winkel und der Talo-Calcanear Winkel im a.p. Strahlengang einen Zusammenhang mit Explantationen, wenn postoperativ keine ausreichende Korrektur messbar war. Allerdings konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen Alter, Geschlecht und Implantatgröße und den Komplikationen mit Metallentfernung festgestellt werden. (Cook et al., 2011) Diese Beobachtung von Cook et al. deckte sich Großteils mit den unseren: Alter, Geschlecht und Implantatgröße zeigten keine erhöhten Raten an Metallentfernungen.

Da sich unsere Gruppe mit Arthrorise bei idiopathischen Knick-Senkfüßen sowohl bei den Komplikationsraten als auch beim Korrekturpotential der radiologischen Parameter mit der Literatur deckt, kann unsere Kontrollgruppe als geeignet für den Vergleich mit den neurogenen Patienten erachtet werden.

10.2 Gruppe neurogener Pes planovalgus

Ziel dieser Arbeit war es, mehr über die Effektivität der subtalaren Arthrorise mittels Sinus-tarsi-Spacer bei ICP Patienten zu erfahren. Die radiologische Auswertung dient der Beurteilung des Behandlungserfolges.

Es zeigte sich in der neurogenen Gruppe eine Verbesserung der bestimmten Winkelmaße. Der Talo-Metatarsale-I-Winkel wurde durch den Eingriff von durchschnittlich $-22,3^\circ$ auf -15° korrigiert, während er sich in der Kontrollgruppe von $-13,9^\circ$ auf $-4,4^\circ$ verbesserte. Das Ausmaß der Änderung war mit $7,3^\circ$ zu $9,4^\circ$ vergleichbar.

Der Calcaneus-Boden-Winkel zeigte bei den ICP Patienten eine Änderung von 10° auf $11,4^\circ$. Bei idiopathischem Pes planovalgus belief sich diese von $14,5^\circ$ auf 15° . Auch hier waren die Änderungen des Winkels mit $1,4^\circ$ bei den neurogenen Patienten zu $0,5^\circ$ bei den idiopathischen vergleichbar. Trotz des kleineren Ausmaßes war nur die Änderung in der Kontrollgruppe signifikant. Dies könnte mit der größeren Fallzahl in der Kontrollgruppe zusammenhängen.

Der Talo-Calcareare Winkel war der dritte Winkel, den wir im seitlichen Strahlengang bestimmten. In der neurogenen Gruppe verbesserte sich dieser Winkel von 50° auf 44,5° und in der Kontrolle von 48,3° auf 41,7°. Wieder war die Größe der Änderung in den beiden Gruppen vergleichbar mit 5,6° bei ICP und 6,6° bei idiopathischem Pes planovalgus.

Im anterior-posterioren Strahlengang wurden zwei Winkel bestimmt. Der erste war der Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel zur Bildung des TMT-Index, aber auch als eigenständiger sekundärer Endpunkt. Hier konnte durch Arthrorise bei neurogenem Knick-Senkfuß eine Änderung von -26,8° auf -15,4° erreicht werden. In der idiopathischen Gruppe konnte der TMTB-I-Winkel von -19° auf -6,7° korrigiert werden. Das Ausmaß der Korrektur war somit 11,4° in der neurogenen Gruppe und 12,3° in der idiopathischen.

Der zweite Winkel im a.p. Strahlengang war der talonaviculare coverage angle, der sich bei ICP Patienten von 20,7° auf 8,8° verbesserte und in der Kontrollgruppe von 13,3° auf 5°. Die Differenzen von prä- auf postoperativ waren somit 11,9° und 8,3°.

Es zeigten sich somit für alle Winkelmaße ähnliche Verbesserungen durch die subtalare Arthrorise. Auch in der Signifikanztestung konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden werden.

Der primäre Endpunkt dieser Arbeit war der Talo-Metatarsal-Index, an dem sich die Korrektur des Fußes in einer Maßzahl festmachen lässt. In der neurogenen Gruppe verbesserte sich der Index von -49,2° auf -30,5° und zeigte somit eine Änderung von 18,7°. In der Kontrollgruppe belief sich die Korrektur von -32,9° auf -11,1°, was eine Änderung von rund 21,7° bedeutete. Beim Vergleich der beiden Gruppen zeigte sich, dass auch beim TMT-Index keine signifikanten Unterschiede zu finden waren. Die subtalare Arthrorise scheint somit eine vergleichbare Korrektur der Fußstellung bei neurogenem Knick-Senkfuß zu bewirken.

Ein weiterer Bestandteil des Therapieergebnisses ist die Komplikationsrate, die mit diesem Eingriff einhergeht. Innerhalb der neurogenen Gruppe traten Komplikationen in 9 von 28 Fällen auf, also einer Rate von 32%. In 4 Fällen führte dies zu einer Metallentfernung, was somit 14% der Fälle entspricht. Ein signifikanter Zusammenhang zeigte sich weder mit dem Alter der Patienten noch mit der Implantatgröße oder dem Geschlecht.

Die relative Verteilung der Komplikationen war in der Kontrollgruppe ähnlich. In 30% (25 von 82) der Fälle traten Komplikationen auf, die wiederum in 9% (7 von 82) in Metallentfernungen resultierten. Im Gegensatz zur neurogenen Gruppe zeigte sich hier allerdings ein signifikanter Zusammenhang mit der Implantatgröße. Das ähnlich häufige Auftreten von Komplikationen spiegelte sich auch in der Statistik wider, da kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen gefunden werden konnte.

Beim Vergleich mit der Kontrollgruppe konnte nach der Arthrorise bei neurogenem Knick-Senkfuß kein signifikanter Unterschied in einem der Endpunkte gefunden werden. Um besser

zu erkennen, ob die Arthrorise bei neurogenem Pes planovalgus einen geeigneten Eingriff darstellt, braucht es noch einen ergänzenden Blick in die Literatur.

10.3 Vergleich zur Literatur

Zunächst gilt es die radiologischen Ergebnisse mit der vorhandenen Literatur zu vergleichen. Bei Kubo et al. wurde die Effektivität der Schraubenarthrorise bei neurogenem Knick-Senkfuß bei ICP geprüft. Es zeigte sich eine ähnliche Effektivität des Eingriffs im Vergleich zu Kontrollpatienten. Diese wurde dabei anhand der Winkeländerungen festgemacht. So änderte sich der TMT-Index bei der idiopathischen Gruppe von $11,8^\circ$ auf $5,9^\circ$ und bei den Patienten mit neurogenen Knick-Senkfüßen von $15,4^\circ$ auf $11,8^\circ$. Zwischen den Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede erkannt werden, doch auch nur die isoliert betrachtete Änderung in der idiopathischen Gruppe war signifikant. (Kubo et al., 2019) In unserem Patientengut änderte sich der TMT-Index bei idiopathischen Knick-Senkfüßen von $-32,9^\circ$ auf $-11,1^\circ$ und beim neurogenen Pes planovalgus von $-49,2^\circ$ auf $-30,5^\circ$. Auch hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, die Ergebnisse erscheinen also ähnlich. Kubo et al. (Anmerkung: Sie nutzten andere Vorzeichen als von Hamel und Kinast definiert) interpretierten ihre Änderung des TMT-Index als Behandlungserfolg und auf Grund der gleichgerichteten Korrektur in unserem Patientengut lässt sich diese Aussage übertragen.

Weitere Winkel, die wir als sekundäre Endpunkte nutzten, bestimmten Kubo et al., um ihr Studienergebnis zu verifizieren. Einer davon war der Calcaneus-Boden-Winkel. In ihrer idiopathischen Kontrollgruppe änderte sich der Calcaneus-Boden-Winkel zunächst nicht, zeigte dann aber im follow-up eine signifikante Verbesserung von $11,4^\circ$ auf $13,6^\circ$. Im Vergleich zeigte sich beim neurogenen Knick-Senkfuß eine Verbesserung von $7,2^\circ$ auf $10,7^\circ$, welche jedoch nicht signifikant war. (Kubo et al., 2019) Ahmed et al. nutzten ebenso den Calcaneus-Boden-Winkel zum Vergleich der Operationsergebnisse. Bei ihren neurogenen Knick-Senkfüßen, die jedoch mittels Schraubenarthrorise versorgt wurden, konnte der Winkel von $3,1^\circ$ auf $9,5^\circ$ signifikant verbessert werden. (Ahmed et al., 2020) In unserer Kontrollgruppe änderte sich der Calcaneus-Boden-Winkel signifikant von $14,5^\circ$ auf 15° , während sich in unserer neurogenen Gruppe mit 10° auf $11,4^\circ$ keine signifikante Änderung zeigte. Die Literatur zeigte ebenso wie unsere Studie unterschiedliche Ergebnisse zur Korrektur des Calcaneus-Boden-Winkels, die meist auch gering ausfiel. Ein klinisch relevanter Einfluss der subtalaren Arthrorise auf diese Messgröße bleibt somit fraglich.

Mit dem Talo-Calcanearen Winkel im seitlichen Strahlengang legten Kubo et al. noch einen weiteren Endpunkt fest, den wir auch bestimmten. In deren Arbeit änderte sich dieser Winkel in der Kontrollgruppe signifikant von 44° auf $39,2^\circ$ und in der Gruppe der ICP Patienten ebenfalls signifikant von $43,1^\circ$ auf $36,8^\circ$. (Kubo et al., 2019) Elbarbary et al. untersuchten die Ergebnisse der subtalaren Arthrorise mittels Schraube bei neurogenem Knick-Senkfuß. Diese wurden anhand klinischer Parameter und des Talo-Calcanearen Winkels festgemacht. Letzterer zeigte bei ihnen eine signifikante Veränderung von präoperativen $50,3^\circ$ auf $27,9^\circ$ postoperativ. (Elbarbary et al., 2020) Bei Ahmed et al. fand dieser Winkel auch Anwendung.

Sie konnten mittels Schraubenarthrorise eine Korrektur von $43,7^\circ$ auf $31,1^\circ$ erreichen. (Ahmed et al., 2020) Unsere Ergebnisse zeigten eine Änderung von $48,3^\circ$ auf $41,7^\circ$ in der idiopathischen Gruppe und von 50° auf $44,5^\circ$ in der neurogenen Gruppe. Da die Änderungen innerhalb beider Gruppen signifikant waren, jedoch zwischen den Gruppen nicht, lässt sich daraus im Hinblick auf die genannte Literatur schließen, dass mit der subtalaren Arthrorise auch bei neurogenen Knick-Senkfüßen ein positiver Einfluss auf einen bestehenden Rückfußvalgus ausgeübt werden kann.

Wen et al. nutzten in ihrer Vergleichsstudie zwischen Arthrorise und Arthrodesse den Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang, um die Korrektur der Fußform bei Patienten mit ICP zu prüfen. In der Gruppe mit Sinus-tarsi-Spacer änderte sich dieser von 20° auf 0° . (Wen et al., 2017) Auch Ahmed et al. nutzten den Talo-Metatarsale-I-Winkel und konnten mittels Schraubenarthrorise den präoperativen Wert von 25° auf postoperative $5,5^\circ$ korrigieren. (Ahmed et al., 2020) (Anmerkung: die Winkel erhielten bei Wen et al. und Ahmed et al. ein positives Vorzeichen; entsprechend dem TMT-Index nach Hamel und Kinast müssten sie mit einem negativen Vorzeichen versehen werden) In unserem Patientengut konnte der Talo-Metatarsale-I-Winkel in der neurogenen Gruppe von $-22,3^\circ$ auf -15° korrigiert werden, was eine gleichgerichtete Verbesserung wie in der Literatur beschrieben darstellt.

Der talonaviculare coverage angle wurde von Ahmed et al. genutzt, um die Korrektur im a.p. Strahlenverlauf zu beschreiben. Bei ihnen konnte der Winkel durch eine Schraubenarthrorise von präoperativen $39,9^\circ$ auf postoperative $9,2^\circ$ verbessert werden. (Ahmed et al., 2020) In unserem Patientengut fand eine Änderung von $20,7^\circ$ auf $8,8^\circ$ statt. Es ließ sich somit erkennen, dass die subtalare Arthrorise auch im a.p. Strahlengang eine Verbesserung der Fußstellung bewirken kann.

Die positive Veränderung der radiologischen Parameter durch die Arthrorise beim neurogenen Pes planovalgus in unserem Patientengut zeigt somit Ähnlichkeit zu den Ergebnissen anderer Autoren. Elbarbary et al. und Ahmed et al. schlossen aus ihren Daten, dass die Arthrorise eine brauchbare Alternative zu den etablierten Verfahren darstellt. (Elbarbary et al., 2020; Ahmed et al., 2020) Kubo et al. kamen zu dem Ergebnis, dass die subtalare Arthrorise als zusätzliche Therapieoption in Betracht gezogen werden sollte. (Kubo et al., 2019)

Bei der Frage nach Komplikationen zeigte sich in unserem neurogenen Patientengut kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe, deren Komplikationsrate wiederum der der Literatur entsprach.

In der vorliegenden Arbeit kam es sowohl in der neurogenen als auch in der Kontrollgruppe in zirka einem Drittel der Fälle zu Komplikationen, wie beispielsweise verlängerte Schmerzperioden. In 9% der idiopathischen Fälle, beziehungsweise 14% der neurogenen Fälle traten Komplikationen auf, die eine Entfernung des Spacers zur Folge hatten.

Kubo et al. führten eine Fall-Kontrollstudie zur subtalaren Arthrorise bei neurogenem Pes planovalgus durch und verzeichneten bei 19 neurogenen und 19 idiopathischen Knick-Senkfüßen keine Komplikation. (Kubo et al., 2019)

In der Studie von Wen et al. zeigte sich bei 20 Füßen, die bei neurogenem Pes planovalgus mittels subtalarer Arthrorise behandelt wurden, nur eine Komplikation im Sinne von lokalem Schmerz, welcher nur durch eine Metallentfernung beendet werden konnte. (Wen et al., 2017)

Bei Elbarbary et al. zeigte sich bei 46 operierten Fällen nur eine Wundinfektion, welche nach Scheitern der konservativen Therapie eine Metallentfernung zur Folge hatte. (Elbarbary et al., 2020)

Diese Arbeiten haben somit geringere Komplikationsraten, als es in unserer Studie der Fall war. Allerdings gibt es auch Berichte über ähnliche Komplikationsraten nach Behandlung mittels Arthrorise wie wir sie beschrieben haben. Molayem et al. behandelten neurogene Knick-Senkfüße bei ICP Patienten mit Sinus-tarsi-Spacern oder Calcaneus-Stoppschrauben. Hier zeigten sich bei Therapie mit einem Spacer in 21,5% der Fälle Komplikationen, während nach Schrauben-Arthrorise im Verlauf 38,5% der Patienten Beschwerden hatten. (Molayem et al., 2009) Dies entspricht in etwa der Komplikationsrate, welche auch in unserer neurogenen Gruppe zu finden war. Trotz der höheren Komplikationsraten als in anderen Arbeiten empfanden Molayem et al. die Arthrorise ebenfalls als brauchbare Option in der Therapie des neurogenen Pes planovalgus, vor allem, weil somit invasivere Eingriffe verhindert oder hinausgezögert werden könnten. (Molayem et al., 2009)

10.4 Vergleich zu anderen operativen Methoden

Da nun beleuchtet wurde, dass die subtalare Arthrorise als Behandlungsoption zur Korrektur des neurogenen Pes planovalgus erwogen werden kann, gilt es zu analysieren, wie sie im Vergleich zu anderen etablierten Verfahren abschneidet.

Die Ergebnisse der subtalaren Arthrorise bei neurogenem Knick-Senkfuß wurden von Wen et al. mit denen der Arthrodeese nach Dennyson-Fulford verglichen. In ihrer Studie war sowohl das klinische als auch das radiologische Ergebnis bei den beiden Eingriffen ähnlich. Ein radiologischer Parameter, den Wen et al. für die Beurteilung nutzten, war der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang. Dieser verbesserte sich in der Gruppe mit Sinus-tarsi-Spacer von 20° auf 0° und durch die Arthrodeese von 19° auf 2° (Anmerkung: Die Winkel erhielten bei Wen et al. ein positives Vorzeichen; entsprechend dem TMT-Index nach Hamel und Kinast würden sie mit einem negativen Vorzeichen versehen werden). Während in beiden Gruppen eine signifikante Verbesserung der Fußstellung erreicht wurde, war kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zu finden. Auch in Bezug auf die Komplikationsrate gab es keine signifikanten Unterschiede. Wen et al. merkten jedoch an, dass die subtalare Arthrorise weitere Vorteile gegenüber der Arthrodeese mitbringt. So wird

die Beweglichkeit des subtalaren Gelenks erhalten und es besteht eine leichtere Revisionsmöglichkeit im Falle von Komplikationen oder Rezidiven. (Wen et al., 2017)

In der prospektiven Vergleichsstudie von Ahmed et al. wurden die Ergebnisse der Arthrorise mittels Stoppschraube mit denen der calcanearen Verlängerung nach Evans bei neurogenem Knick-Senkfuß bei infantiler Zerebralparese verglichen. Bei Ahmed et al. wurden einige radiologische Parameter bestimmt, die auch wir zur Beschreibung des Ergebnisses nutzten. In der Gruppe, welche mittels Arthrorise therapiert wurde, veränderte sich der talonaviculare coverage angle von präoperativen $39,9^\circ$ auf postoperative $9,2^\circ$, der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang von 25° auf $5,5^\circ$, der Talo-Calcaneare Winkel von $43,7^\circ$ auf $31,1^\circ$ und der Calcaneus-Boden-Winkel von $3,1^\circ$ auf $9,5^\circ$. In der Gruppe der Calcaneusverlängerung nach Evans änderte sich der talonaviculare coverage angle von $42,3^\circ$ auf 14° , der Talo-Metatarsale-I-Winkel von $21,9^\circ$ auf $5,2^\circ$, der Talo-Calcaneare Winkel von 39° auf 34° und der Calcaneus-Boden-Winkel von 2° auf 11° . Die Änderungen innerhalb der Gruppen waren bei Ahmed et al. alle signifikant, jedoch zeigten sich erneut zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede, mit Ausnahme des lateralen Talo-Calcanearen Winkels, der in der Gruppe der Arthrorise eine signifikant bessere Korrektur erfuhr. Auch in Bezug auf die Komplikationsrate konnten sie keine Unterschiede feststellen. Aus ihren Ergebnissen schlussfolgerten Ahmed et al., dass sowohl die Arthrorise als auch die Calcaneusverlängerung geeignete Verfahren zur Korrektur des neurogenen Pes planovalgus darstellen, wobei die Arthrorise eine ausgeprägtere Verbesserung des Rückfußvalgus verspricht. Auch die niedrigere Invasivität und das geringe Potential an Morbidität sprechen für die Arthrorise. (Ahmed et al., 2020)

Ahmed et al. kamen durch ihre Ergebnisse zu dem Schluss, dass sich die subtalare Arthrorise mittels Calcaneus-Stoppschraube als operatives Verfahren bei neurogenem Pes planovalgus eignet, da es zu signifikanten Verbesserungen der Fußform kommt. (Ahmed et al., 2020) Da sich in unserem Patientengut sehr ähnliche Ergebnisse zeigen, lässt sich daraus erkennen, dass auch eine Arthrorise mit Sinus-tarsi-Spacer eine geeignete Therapieoption darstellt.

Dass die Calcaneusverlängerung nach Evans als Therapieoption für den neurogenen Knick-Senkfuß geeignet ist, wurde von Zeifang et al. erprobt. Für sie stellt diese Operation eine gute Methode zur Verbesserung der Fußstellung dar. Sie untersuchten die Veränderung mehrerer radiologischer Parameter, die auch in unserer Arbeit genutzt wurden. Bei Zeifang et al. änderte sich der Talo-Calcaneare Winkel von $42,6^\circ$ auf $36,2^\circ$ und der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang von $32,9^\circ$ auf 18° . Zeifang et al. war es des Weiteren möglich mit der Calcaneusverlängerung eine signifikante Änderung des Calcaneus-Boden-Winkels zu erreichen, der sich von $3,3^\circ$ auf $13,9^\circ$ besserte. (Zeifang et al., 2006)

Bei Zeifang et al. zeigte sich bei 10 von 32 Patienten postoperativ ein schmerzhaftes Hämatom, welches allerdings keiner Entlastung bedurfte. Bei 6 von 46 Füßen war eine Reoperation notwendig. (Zeifang et al., 2006)

Ein Vergleich der Daten zur Calcaneusverlängerung von Zeifang et al. lässt sich nur bedingt mit denen zur Arthrorise aus unserer Studie ziehen, da weder Zeifang et al. noch wir einen direkten Vergleich beider Techniken ausarbeiteten. Dennoch zeigt sich, auch in Hinblick auf die Ergebnisse von Ahmed et al., dass die Korrekturpotentiale bezüglich des Talo-Calcanearen Winkels und des Talo-Metatarsale-I-Winkels ähnlich sind. Nur eine signifikante Verbesserung des Calcaneus-Boden-Winkels erreichten wir nicht. Dafür berichten Zeifang et al. über ähnliche Komplikationsraten bei der Calcaneusverlängerung wie wir bei der Arthrorise. Die Art der Revisionen unterscheidet sich allerdings auf Grund der unterschiedlichen Erstoperation.

Waizy et al. nutzten mit der extraartikulären Arthrodesenach Grice und Green ein weiteres etabliertes Verfahren bei neurogenem Pes planovalgus und verglichen sie mit der Calcaneusverlängerung nach Evans. Sie zeigten, dass beide Eingriffe ähnlich gute Ergebnisse bei diesem Patientenkollektiv erwirken können. Zur Erfassung des Korrekturergebnisses nutzten sie mehrere radiologische Maße, darunter den TMT-Index und den Talo-Calcanearen Winkel im seitlichen Strahlengang. In ihrer Arbeit konnte der durchschnittliche TMT-Index mit der Arthrodesenach Grice und Green von $-50,2^\circ$ auf $-28,1^\circ$ und mit der Calcaneusverlängerung nach Evans von $-49,6^\circ$ auf $-31,8^\circ$ korrigiert werden. Der Talo-Calcaneare Winkel im seitlichen Strahlengang veränderte sich in der Gruppe der Arthrodesenach Grice und Green von $32,7^\circ$ auf $28,2^\circ$, in der Gruppe der Calcaneusverlängerung zeigte sich bei präoperativen Werten von $28,2^\circ$ und postoperativen $28,4^\circ$ nahezu keine Veränderung. (Waizy et al., 2013)

In Bezug auf Komplikationen zeigten sich bei Waizy et al. in der Gruppe mit Arthrodesenach Grice und Green nur konservativ beherrschbare Komplikationen. Wurde der neurogene Knick-Senkfuß mit Calcaneusverlängerung nach Evans behandelt, so traten neben Schwellungen und Rötungen auch Infektionen und Wundnekrosen auf, die zum Teil Revisionen erforderten. (Waizy et al., 2013)

Bollmann et al. nutzten ebenfalls die Arthrodesenach Grice und Green zur Korrektur neurogener Knick-Senkfüße. Dabei änderte sich bei deren Patienten der Talo-Calcaneare Winkel von $49,5^\circ$ auf $31,5^\circ$, der Calcaneus-Boden-Winkel von 3° auf $7,6^\circ$, der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang von -37° auf $-12,3^\circ$ und der Talus-Metatarsalbasis-I-Winkel von $-29,5^\circ$ auf $-2,6^\circ$. Der TMT-Index verbesserte sich somit von $-66,5^\circ$ auf -15° . (Bollmann et al., 2015)

Wieder sind die Ergebnisse der genannten Arbeiten mit den unseren nur bedingt vergleichbar, da keine davon eine direkte Gegenüberstellung der Verfahren mit der Arthrorise durchführt. Jedoch lässt sich erkennen, dass die Arthrorise in unserem neurogenen Patientengut eine Verbesserung der Fußstellung bringt, sowie sie Waizy et al. und Bollmann et al. mit der Arthrodesenach Grice und Green erreichen konnten. Dies lässt sich daraus ableiten, dass die Korrekturwerte des TMT-Index ähnlich ausfallen. Die Werte des Talo-Calcanearen Winkels bewegten sich bei Waizy et al. sowohl prä- als auch postoperativ im Normbereich. In unserem Patientengut verbesserte sich dieser Wert wie bei Bollmann et al. durch die Operation hin zu den Normwerten.

Vergleicht man die Arthrorise mit anderen etablierteren Operationstechniken, so bestätigt sich nochmals die Aussage von Elbarbary et al. und Ahmed et al., dass die Arthrorise eine Alternative zu den etablierten Verfahren darstellt. (Elbarbary et al., 2020; Ahmed et al., 2020)

10.5 Schwächen dieser Studie

Wie die meisten Arbeiten, hat auch diese einige Schwächen, die das Ergebnis beeinflussen könnten und somit erwähnt werden sollten.

Ein Schwachpunkt ist das retrospektive Studiendesign dieser Arbeit. Ein Nachteil im Vergleich zu prospektiven Studien ist, dass die dokumentierten Daten vor allem zu klinischen und administrativen Zwecken angelegt wurden und nicht zu wissenschaftlichen. Dies könnte zu einer schlechteren Qualität der Daten und somit zu Fehlern in der Studie führen. (Sessler und Imrey, 2015a)

Dies wurde versucht zu verhindern, indem strenge Einschlusskriterien für die Studie gestellt wurden, die eine Vollständigkeit aller auszuwertenden Aspekte verlangte. Es lässt sich jedoch nicht ausschließen, dass dies zu einem Selektionsbias führte.

Des Weiteren tendieren retrospektive Beobachtungsstudien im Vergleich zu randomisierten prospektiven Studien dazu, den Effekt der Intervention zu überschätzen und Nebenwirkungen zu unterschätzen. (Sessler und Imray, 2015b)

Ein weiterer Fehler, im Sinne eines Confounding bias, könnte dadurch entstehen, dass einige Patienten begleitende Weichteileingriffe im Sinne einer Myofasziotomie nach Ulzibat erhielten, wenn diese notwendig waren. Die Korrektur der Fußstellung wurde jedoch der Arthrorise zugesprochen. (Sessler und Imrey, 2015a) Wang et al. untersuchten dies bereits und fanden keine Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne Weichteileingriffen. (Wang et al., 2021) Ein Effekt lässt sich jedoch nicht ganz ausschließen.

Was ebenfalls potenziell als Fehlerquelle in Frage kommt, ist die Tatsache, dass in der neurogenen Gruppe, gemessen an den radiologischen Parametern, eine durchschnittlich schwerere Knick-Senkfuß Deformität vorlag. Aus einer größeren Fehlstellung ergibt sich auch ein größeres Korrekturpotenzial, was einen Effektivitätsunterschied der Arthrorise verdecken könnte. Diesbezüglich bedarf es weiterer Untersuchungen.

Auch kam es in der neurogenen Gruppe in einem Fall zu einer Überkorrektur des Fußes. Die radiologischen Parameter dieses Hohlfußes flossen in die Statistik mit ein und könnten durch scheinbar hohe Korrekturwerte eine Verzerrung des Ergebnisses bewirken.

Auch gilt es zu erwähnen, dass aus dieser Arbeit nicht abgeleitet werden kann, ob das Verfahren der Arthrorise bei neurogenen und idiopathischen Patienten gleich gut funktioniert. Hierfür wäre ein anderes Studiendesign nötig im Sinne einer Äquivalenzstudie. Lediglich die Interpretation, dass der Eingriff bei neurogenem Knick-Senkfuß eine Verbesserung erwirkt und diese Ähnlichkeit zur Kontrollgruppe aufweist, ist zulässig.

10.6 Conclusio

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass bei passender Indikation die subtalare Arthrorise mit einem Sinus-tarsi-Spacer positive Auswirkungen auf die Ausbildung des Fußgewölbes bei Patienten mit neurogenem Pes planovalgus bei ICP haben kann.

Im Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Änderung des TMT-Index oder der anderen genutzten radiologischen Winkel, während innerhalb der Gruppen signifikante Verbesserungen der Fußstellung messbar waren. Auch in Hinblick auf die Komplikationen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die Verbesserungen bei neurogenem Pes planovalgus, die mittels subtalärer Arthrorise erreicht werden konnten, zeigten sich vergleichbar zu jenen in der Literatur. Auch in Bezug auf andere etablierte Eingriffe scheint die Arthrorise ähnliche Ergebnisse zu liefern.

Es zeigt sich somit, dass die Arthrorise in der Lage sein kann, ein gutes Ergebnis bei Patienten mit neurogenen Knick-Senkfüßen zu erzielen. Dabei bietet sie sogar noch Vorteile gegenüber den anderen Eingriffen, wie beispielsweise ein geringeres Trauma oder eine fast vollständige Reversibilität im Falle des Versagens der Therapie. (Ortiz et al, 2018; Graham, 2013)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die subtalare Arthrorise eine sinnvolle Therapieoption bei neurogenem Pes planovalgus auf Grund einer infantilen Zerebralparese darstellen kann. Es zeigt sich eine signifikante Verbesserung der Fußstellung in der neurogenen Gruppe, die sich nicht signifikant von der der Kontrollgruppe mit idiopathischen Knick-Senkfüßen unterscheidet. Sie bietet Vorteile gegenüber den alternativen Eingriffen und liefert im Vergleich mit der Literatur ähnlich gute Ergebnisse. Dennoch sind weitere Untersuchungen notwendig, um die Effektivität des Eingriffs abschließend beurteilen zu können.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1: TMT-I-Winkel.	18
Abbildung 4.2: Talo-Calcanearer Winkel.....	19
Abbildung 4.3: Calcaneus-Boden-Winkel.....	19
Abbildung 4.4: talonavicular coverage angle.	20
Abbildung 4.5: Talo-Metatarsale-I-Winkel a.p. [Quelle: (Lee et al., 2013)].....	20
Abbildung 4.6: Talo-Calcanearer Winkel in a.p. [Quelle: (Escobedo et al., 2016)]	21
Abbildung 4.7: TMTB-I-Winkel.	22
Abbildung 4.8: CYMA-Linie [Quelle: (Escobedo et al., 2016)].....	23
Abbildung 4.9: C-sign [Quelle: (Kim, 2002)]	24
Abbildung 6.1: Sinus tarsi Spacer der Firma Tornier®	36
Abbildung 6.2: Implantatvarianten [Quelle: (Bernasconi et al., 2017)].....	38
Abbildung 9.1: Geschlechterverteilung - idiopathische Gruppe.....	48
Abbildung 9.2: Altersverteilung nach Geschlecht - idiopathische Gruppe	49
Abbildung 9.3: Eta-Koeffizient Alter und Geschlecht - idiopathische Gruppe.....	49
Abbildung 9.4: Implantatgröße nach Geschlecht - idiopathische Gruppe.....	50
Abbildung 9.5: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße Geschlecht - idiopathische Gruppe	50
Abbildung 9.6: Komplikationen nach Geschlecht - idiopathische Gruppe	51
Abbildung 9.7: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen Geschlecht – idiopathische Gruppe.....	51
Abbildung 9.8: Altersverteilung - idiopathische Gruppe.....	52
Abbildung 9.9: Altersverteilung Diagramm - idiopathische Gruppe.....	52
Abbildung 9.10: Korrelationen Alter und Implantatgröße - idiopathische Gruppe.....	53
Abbildung 9.11: Korrelationen Alter und Operationsergebnis – idiopathische Gruppe	53
Abbildung 9.12: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen – idiopathische Gruppe	54
Abbildung 9.13: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen mit ME – idiopathische Gruppe..	54
Abbildung 9.14: Implantatgröße - idiopathische Gruppe	55
Abbildung 9.15: Implantatgröße zu Komplikationen Kreuztabelle - idiopathische Gruppe....	55
Abbildung 9.16: Chi-Quadrat-Test Implantatgröße Komplikationen – idiopathische Gruppe	56
Abbildung 9.17: Korrelation Implantatgröße Operationsergebnis - idiopathische Gruppe	56
Abbildung 9.18: Komplikationsrate - idiopathische Gruppe.....	57
Abbildung 9.19: TMT-I-Winkel Statistik - idiopathische Gruppe	58
Abbildung 9.20: TMT-I-Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe.....	58
Abbildung 9.21: Calcaneus-Boden-Winkel Statistik - idiopathische Gruppe	59
Abbildung 9.22: Calcaneus-Boden-Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe	59
Abbildung 9.23: Talo-Calcanearer Winkel Statistik - idiopathische Gruppe.....	60
Abbildung 9.24: Talo-Calcanearer Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe	60
Abbildung 9.25: TMTB-I-Winkel Statistik - idiopathische Gruppe	61
Abbildung 9.26: TMTB-I-Winkel Diagramm - idiopathische Gruppe	61
Abbildung 9.27: talonavicular coverage angle Statistik - idiopathische Gruppe	62
Abbildung 9.28: talonavicular coverage angle Diagramm - idiopathische Gruppe	62

Abbildung 9.29: TMT-Index Statistik - idiopathische Gruppe	63
Abbildung 9.30: TMT-Index Diagramm - idiopathische Gruppe	63
Abbildung 9.31: Geschlechterverteilung - neurogene Gruppe	64
Abbildung 9.32: Altersverteilung nach Geschlecht - neurogene Gruppe	65
Abbildung 9.33: Eta-Koeffizient Alter und Geschlecht - neurogene Gruppe.....	65
Abbildung 9.34: Verteilung Implantatgröße nach Geschlecht - neurogene Gruppe.....	66
Abbildung 9.35: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße und Geschlecht - neurogene Gruppe....	66
Abbildung 9.36: Komplikationen nach Geschlecht - neurogene Gruppe	67
Abbildung 9.37: Chi-Quadrat-Tests Komplikationen nach Geschlecht - neurogene Gruppe. .	67
Abbildung 9.38: Altersverteilung - neurogene Gruppe.....	68
Abbildung 9.39: Altersverteilung Diagramm - neurogene Gruppe.....	68
Abbildung 9.40: Korrelationen Alter und Implantatgröße - neurogene Gruppe	69
Abbildung 9.41: Korrelation Alter und Operationsergebnis	69
Abbildung 9.42: Eta-Koeffizient Alter und Komplikationen - neurogene Gruppe	70
Abbildung 9.43: Eta-Koeffizient Alter Komplikationen mit ME - neurogene Gruppe.....	70
Abbildung 9.44: Implantatgröße - neurogene Gruppe	71
Abbildung 9.45: Chi-Quadrat-Tests Implantatgröße Komplikationen - neurogene Gruppe. ..	71
Abbildung 9.46: Korrelationen Implantatgröße Operationsergebnis - neurogene Gruppe	72
Abbildung 9.47: Komplikationsrate - neurogene Gruppe	72
Abbildung 9.48: TMT-I-Winkel Statistik - neurogene Gruppe.....	73
Abbildung 9.49: TMT-I-Winkel Diagramm - neurogene Gruppe.....	73
Abbildung 9.50: Calcaneus-Boden-Winkel Statistik - neurogene Gruppe	74
Abbildung 9.51: Calcaneus-Boden-Winkel Diagramm - neurogene Gruppe	74
Abbildung 9.52: Talo-Calcaneärer Winkel Statistik - neurogene Gruppe	75
Abbildung 9.53: Talo-Calcaneärer Winkel Diagramm - neurogene Gruppe	75
Abbildung 9.54: TMTB-I-Winkel Statistik - neurogene Gruppe	76
Abbildung 9.55: TMTB-I-Winkel Diagramm - neurogene Gruppe.....	76
Abbildung 9.56: talonaviculare coverage angle Statistik - neurogene Gruppe	77
Abbildung 9.57: talonaviculare coverage angle Diagramm - neurogene Gruppe	77
Abbildung 9.58: TMT-Index Statistik - neurogene Gruppe	78
Abbildung 9.59: Vergleich der Operationsergebnisse Statistik	79
Abbildung 9.60: Vergleich der Operationsergebnisse Diagramm.....	80
Abbildung 9.61: Vergleich sekundäre Endpunkte Statistik	81
Abbildung 9.62: Vergleich TMT-I-Winkel Diagramm	81
Abbildung 9.63: Vergleich Calcaneus-Boden-Winkel Diagramm	82
Abbildung 9.64: Vergleich Talo-Calcaneärer Winkel Diagramm	82
Abbildung 9.65: Vergleich TMTB-I-Winkel Diagramm	83
Abbildung 9.66: Vergleich talonaviculare coverage angle Diagramm	83
Abbildung 9.67: Vergleich Komplikationen Statistik.....	84

12 Literaturverzeichnis

- Ahmed, A. H., Hanna, A. A., Arafa, A. S., El-Sherbini, M. H., Omran, A. A. (2020). Prospective Comparison of Subtalar Arthroereisis With Calcaneal Lengthening in the Management of Planovalgus Feet of Ambulatory *Children With Spastic Cerebral Palsy?*. *Foot & ankle specialist*, 1938640020974886. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/1938640020974886>
- 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(2), 56–63. <https://doi.org/10.1177/107110078300400202>
- Aumüller, G., Aust, G., Engele, J., Kirsch, J., Maio, G., Mayerhofer, A., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wennemuth, G., Wolff, W., Wurzinger, L. J., Zilch, H.-G. (2017). *Duale Reihe Anatomie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Bernasconi, A., Lintz, F., Sadile, F. (2017). The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT open reviews*, 2(11), 438–446. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.2.170009>
- Bollmann, C., Franz, A., Raabe, J. (2015). Die extraartikuläre Arthrodesese nach Grice und Green mit Implantation eines Fibulaspans--Nachuntersuchung von 92 Patienten [The Grice-Green subtalar arthrodesis using a fibular bone graft--follow-up of 92 patients]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 153(1), 93–98. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1396245>
- Cao, L., Miao, X. D., Wu, Y. P., Zhang, X. F., Zhang, Q. (2017). Therapeutic Outcomes of Kalix II in Treating Juvenile Flexible Flatfoot. *Orthopaedic surgery*, 9(1), 20–27. <https://doi.org/10.1111/os.12309>
- Carr, J. B., 2nd, Yang, S., Lather, L. A. (2016). Pediatric Pes Planus: A State-of-the-Art Review. *Pediatrics*, 137(3), e20151230. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-1230>
- Chen, K. C., Yeh, C. J., Tung, L. C., Yang, J. F., Yang, S. F., Wang, C. H. (2011). Relevant factors influencing flatfoot in preschool-aged children. *European journal of pediatrics*, 170(7), 931–936. <https://doi.org/10.1007/s00431-010-1380-7>
- Chen, K. C., Tung, L. C., Yeh, C. J., Yang, J. F., Kuo, J. F., Wang, C. H. (2013). Change in flatfoot of preschool-aged children: a 1-year follow-up study. *European journal of pediatrics*, 172(2), 255–260. <https://doi.org/10.1007/s00431-012-1884-4>
- Chi, T. D., Toolan, B. C., Sangeorzan, B. J., Hansen, S. T., Jr (1999). The lateral column lengthening and medial column stabilization procedures. *Clinical orthopaedics and related research*, (365), 81–90. <https://doi.org/10.1097/00003086-199908000-00011>

- Cook, E. A., Cook, J. J., Basile, P. (2011). Identifying risk factors in subtalar arthroereisis explantation: a propensity-matched analysis. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 50(4), 395–401. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2011.03.019>
- Dare, D. M., Dodwell, E. R. (2014). Pediatric flatfoot: cause, epidemiology, assessment, and treatment. *Current opinion in pediatrics*, 26(1), 93–100. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000039>
- Debrunner, H. U. (1985). Biomechanik des Fußes. *Bücherei des Orthopäden, Band 49*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag
- De Pellegrin, M. (2005). Die subtalare Schrauben-Arthrorise beim kindlichen Plattfuß [Subtalar screw-arthroereisis for correction of flat foot in children]. *Der Orthopade*, 34(9), 941–954. <https://doi.org/10.1007/s00132-005-0835-4>
- DeValentine, S. J. (1992). *Foot and ankle disorders in children*. New York: Churchill Livingstone Inc.
- Elbarbary, H. M., Arafa, A. S., Said, A., Hegazy, M., Reiad, M. W., Basha, N. Y., Fahmy, M. (2020). Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Arthroereisis for Management of Planovalgus Foot in Children With Cerebral Palsy: 3-Year Follow-up. *Foot & ankle specialist*, 1938640020980911. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/1938640020980911>
- Escobedo, E. M., Pinney, S. J., Hunter, J. C., Sangeorzan, B. J. (2016 August 14). Evaluation of Adult Foot Alignment: Pes planus. Retrieved from http://uwmsk.org/footalignment/doku.php?id=pes_planus (2021 October 19)
- Evans, A. M., Rome, K. (2011). A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 47(1), 69–89.
- Fernández de Retana, P., Alvarez, F., Viladot, R. (2010). Subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot reconstruction. *Foot and ankle clinics*, 15(2), 323–335. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2010.01.001>
- Gould, N. (1982). Graphing the adult foot and ankle. *Foot & ankle*, 2(4), 213–219. <https://doi.org/10.1177/107110078200200407>
- Gould, N., Moreland, M., Alvarez, R., Trevino, S., Fenwick, J. (1989). Development of the child's arch. *Foot & ankle*, 9(5), 241–245. <https://doi.org/10.1177/107110078900900506>
- Graham, M. E. (2013). Congenital talotarsal joint displacement and pes planovalgus: evaluation, conservative management, and surgical management. *Clinics in podiatric medicine and surgery*, 30(4), 567–581. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2013.07.001>

- Hamel, J., Kinast, C. (2006). Der TMT-Index zur radiologischen Quantifizierung von Planovalgus-Deformitäten. *Fuß & Sprunggelenk*, 4(4), 221-226.
<https://doi.org/10.1007/s10302-006-0244-y>
- Hamel, J. (2019). Operative Behandlung von Fuß und Sprunggelenk im Kindes- und Jugendalter: Einschließlich der Redression kontrakter Deformitäten. doi:
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-56592-6>
- Hamel, J., Hörterer, H., Harrasser, N. (2021). Der Talometatarsalindex („TMT-Index“): Ein wertvoller Röntgenparameter zur Differenzierung zwischen Normalfuß und Planovalgusdeformität beim Kind und Jugendlichen [The talometatarsal-index ("TMT-Index"): A valuable X-ray parameter for differentiating between normal feet and planovalgus deformity in children and adolescents]. *Der Orthopäde*, 50(6), 481–488.
<https://doi.org/10.1007/s00132-020-03954-0>
- Hefti, F., Brunner, R., Freuler, F., Hasler, C., Jundt, G., Krieg, A. (2015). *Kinderorthopädie in der Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- Hell, A. K., Döderlein, L., Eberhardt, O., Hösl, M., von Kalle, T., Mecher, F., Simon, A., Stinus, H., Wilken, B., Wirth, T. (2018). S2-Leitlinie: der kindliche Knick-Senk-Fuß [S2-Guideline: Pediatric Flat Foot]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 156(3), 306–315.
<https://doi.org/10.1055/s-0044-101066>
- Highlander, P., Sung, W., Weil, L., Jr (2011). Subtalar arthroereisis. *Clinics in podiatric medicine and surgery*, 28(4), 745–754. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2011.08.004>
- Imhoff, A. B., Zollinger-Kies, H. (2004). *Fußchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Indino, C., Villafañe, J. H., D'Ambrosi, R., Manzi, L., Maccario, C., Berjano, P., Usuelli, F. G. (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 and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 26(1), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.12.002>
- Kapandji, I. A. (2009). *Funktionelle Anatomie der Gelenke: Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Kim, S. H. (2002). The C sign. *Radiology*, 223(3), 756–757.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2233991817>
- Kosashvili, Y., Fridman, T., Backstein, D., Safir, O., Bar Ziv, Y. (2008). The correlation between pes planus and anterior knee or intermittent low back pain. *Foot & ankle international*, 29(9), 910–913. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0910>
- Kubo, H., Krauspe, R., Hufeland, M., Lipp, C., Ruppert, M., Westhoff, B., Pilge, H. (2019). Radiological outcome after treatment of juvenile flatfeet with subtalar arthroereisis: a

- matched pair analysis of 38 cases comparing neurogenic and non-neurogenic patients. *Journal of children's orthopaedics*, 13(4), 346–352.
<https://doi.org/10.1302/1863-2548.13.190046>
- Lee, K. M., Chung, C. Y., Sung, K. H., Kim, T. W., Lee, S. Y., Park, M. S. (2013). Femoral anteversion and tibial torsion only explain 25% of variance in regression analysis of foot progression angle in children with diplegic cerebral palsy. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10, 56. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-56>
- Matzen, P. (2007). *Kinderorthopädie*. München: Elsevier GmbH
- Metcalfe, S. A., Bowling, F. L., Reeves, N. D. (2011). Subtalar joint arthroereisis in the management of pediatric flexible flatfoot: a critical review of the literature. *Foot & ankle international*, 32(12), 1127–1139. <https://doi.org/10.3113/FAI.2011.1127>
- Mickle, K. J., Steele, J. R., Munro, B. J. (2006). The feet of overweight and obese young children: are they flat or fat?. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 14(11), 1949–1953.
<https://doi.org/10.1038/oby.2006.227>
- Molayem, I., Persiani, P., Marcovici, L. L., Rosi, S., Calistri, A., Villani, C. (2009). Complications following correction of the planovalgus foot in cerebral palsy by arthroereisis. *Acta orthopaedica Belgica*, 75(3), 374–379.
- Moraleda, L., Mubarak, S. J. (2011). Flexible flatfoot: differences in the relative alignment of each segment of the foot between symptomatic and asymptomatic patients. *Journal of pediatric orthopedics*, 31(4), 421–428. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e31821723ce>
- Morley, A. J. (1957). Knock-knee in children. *British medical journal*, 2(5051), 976–979.
<https://doi.org/10.1136/bmj.2.5051.976>
- Mosca, V. S. (2010). Flexible flatfoot in children and adolescents. *Journal of children's orthopaedics*, 4(2), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s11832-010-0239-9>
- Nazarkin, A. (2012). The Efficiency of Application of Medical Technology „Phase Fibrotomy in Orthopedics“ by Professor V. B. Ulzibat in the Rehabilitation of Patients with Infantile Cerebral Palsy. In Kulić, M., Potić, S. (Eds.), *International Scientific Conference Special Education and Rehabilitation - Cerebral Palsy: Book of proceedings and summaries*. Belgrade: Society of Special Educators and Rehabilitators of Serbia. ISBN 978-86-84765-40-8
- Niethard, F. U., Carstens, C., Döderlein, L., Peschgens, T. (1997). *Kinderorthopädie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Ortiz, C. A., Wagner, E., Wagner, P. (2018). Arthroereisis: What Have We Learned?. *Foot and ankle clinics*, 23(3), 415–434. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.04.010>

- Palisano, R., Rosenbaum, P., Bartlett, D., Livingston, M. (2007). GMFCS – E&R: Gross Motor Function Classification System Expanded and Revised. CanChild Centre for Childhood Disability Research, McMaster University. Retrieved from https://www.canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/058/original/GMFCS-ER_English.pdf (2021, Oktober 18)
- Paulsen, F. & Waschke, J. (2010). Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen: Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat. München: Elsevier GmbH
- Pehlivan, O., Cilli, F., Mahirogullari, M., Karabudak, O., Koksall, O. (2009). Radiographic correlation of symptomatic and asymptomatic flexible flatfoot in young male adults. *International orthopaedics*, 33(2), 447–450. <https://doi.org/10.1007/s00264-007-0508-5>
- Pfeiffer, M., Kotz, R., Ledl, T., Hauser, G., Sluga, M. (2006). Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*, 118(2), 634–639. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-2126>
- Rhodes, J., Mansour, A., Frickman, A., Pritchard, B., Flynn, K., Pan, Z., Chang, F., Miller, N. (2017). Comparison of Allograft and Bovine Xenograft in Calcaneal Lengthening Osteotomy for Flatfoot Deformity in Cerebral Palsy. *Journal of pediatric orthopaedics*, 37(3), e202–e208. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000822>
- Sadeghi-Demneh, E., Jafarian, F., Melvin, J. M., Azadinia, F., Shamsi, F., Jafarpishe, M. (2015). Flatfoot in school-age children: prevalence and associated factors. *Foot & ankle specialist*, 8(3), 186–193. <https://doi.org/10.1177/1938640015578520>
- Sadeghi-Demneh, E., Azadinia, F., Jafarian, F., Shamsi, F., Melvin, J. M., Jafarpishe, M., Rezaeian, Z. (2016). Flatfoot and obesity in school-age children: a cross-sectional study. *Clinical obesity*, 6(1), 42–50. <https://doi.org/10.1111/cob.12125>
- Saxena, A., Via, A. G., Maffulli, N., & Chiu, H. (2016). Subtalar Arthroereisis Implant Removal in Adults: A Prospective Study of 100 Patients. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 55(3), 500–503. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2015.12.005>
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. & Wesker, K. (2018). Prometheus Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Sessler, D. I., & Imrey, P. B. (2015a). Clinical Research Methodology 1: Study Designs and Methodologic Sources of Error. *Anesthesia and analgesia*, 121(4), 1034–1042. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000815>

- Sessler, D. I., & Imrey, P. B. (2015b). Clinical Research Methodology 2: Observational Clinical Research. *Anesthesia and analgesia*, 121(4), 1043–1051.
<https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000861>
- Soomekh, D. J., Baravarian, B. (2006). Pediatric and adult flatfoot reconstruction: subtalar arthroereisis versus realignment osteotomy surgical options. *Clinics in podiatric medicine and surgery*, 23(4), 695–v. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2006.08.003>
- Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (2000). Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE). *Developmental medicine and child neurology*, 42(12), 816–824.
<https://doi.org/10.1017/s0012162200001511>
- Thompson, G. H., Hoffer, M. M. (1991). Orthopaedic Surgery in Cerebral Palsy. *Journal of Neurologic Rehabilitation*, 5(1-2), 97-112.
<https://doi.org/10.1177/136140969100500110>
- Vescio, A., Testa, G., Amico, M., Lizzio, C., Sapienza, M., Pavone, P., Pavone, V. (2021). Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World journal of orthopedics*, 12(6), 433–444. <https://doi.org/10.5312/wjo.v12.i6.433>
- Vogt, B., Toporowski, G., Gosheger, G., Rölfig, J. D., Rosenbaum, D., Schiedel, F., Laufer, A., Kleine-Koenig, M. T., Theil, C., Roedl, R., Frommer, A. (2021). Subtalar Arthroereisis for Flexible Flatfoot in Children-Clinical, Radiographic and Pedobarographic Outcome Comparing Three Different Methods. *Children (Basel, Switzerland)*, 8(5), 359.
<https://doi.org/10.3390/children8050359>
- Vulcano, E., Maccario, C., Myerson, M. S. (2016). How to approach the pediatric flatfoot. *World journal of orthopedics*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.5312/wjo.v7.i1.1>
- Wagner, F., Hofbauer, R., Matussek, J. (2013). Der kindliche Knick-Senk-Fuß: Normvariante oder therapiebedürftige Deformität? [Flexible flatfoot in children: variation within normal range or need for treatment?]. *Der Orthopade*, 42(6), 455–468.
<https://doi.org/10.1007/s00132-013-2111-3>
- Waizy, H., Plaass, C., Brandt, M., Herold, D., Stukenborg-Colsman, C., Windhagen, H., Claassen, L. (2013). Extraartikuläre Arthrorise nach Grice/Green vs. Kalkaneusverlängerungsosteotomie nach Evans: Retrospektiver Vergleich zur Therapie des neurogenen Pes planovalgus [Extra-articular arthroereisis according to Grice/Green versus calcaneal lengthening according to Evans: retrospective comparison for therapy of neurogenic pes planovalgus]. *Der Orthopade*, 42(6), 409–417.
<https://doi.org/10.1007/s00132-013-2090-4>

- Wang, S., Chen, L., Yu, J., Zhang, C., Huang, J. Z., Wang, X., Ma, X. (2021). Mid-term Results of Subtalar Arthroereisis with Talar-Fit Implant in Pediatric Flexible Flatfoot and Identifying the Effects of Adjunctive Procedures and Risk Factors for Sinus Tarsi Pain. *Orthopaedic surgery*, 13(1), 175–184. <https://doi.org/10.1111/os.12864>
- 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*, 96(22), e7044. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000007044>
- Wenger, D. R., Mauldin, D., Speck, G., Morgan, D., Lieber, R. L. (1989). Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 71(6), 800–810.
- Westhoff, B., Bittersohl, D., Krauspe, R. (2014). Bilaterale spastische Parese mit Gehfähigkeit (Diparese) : Pathophysiologie, State of the Art konservativer und operativer Behandlung und Rehabilitation [Bilateral spastic cerebral palsy with ambulatory ability (diplegia): pathophysiology, state of the art of conservative and surgical treatment and rehabilitation]. *Der Orthopade*, 43(7), 656–664. <https://doi.org/10.1007/s00132-013-2220-z>
- Wirth, C. J., (2002). Fuß: Das Standardwerk für Klinik und Praxis. *Orthopädie und orthopädische Chirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Yin, J., Zhao, H., Zhuang, G., Liang, X., Hu, X., Zhu, Y., Zhang, R., Fan, X., Cao, Y. (2018). Flexible flatfoot of 6-13-year-old children: A cross-sectional study. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 23(3), 552–556. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2018.02.004>
- Zeifang, F., Breusch, S. J., Döderlein, L. (2006). Evans calcaneal lengthening procedure for spastic flexible flatfoot in 32 patients (46 feet) with a followup of 3 to 9 years. *Foot & ankle international*, 27(7), 500–507. <https://doi.org/10.1177/107110070602700704>