

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie

Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Steffen Ruchholz

Medizinische Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Susanne Fuchs-Winkelmann

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Schraubenarthrorise nach De Pellegrin beim kindlichen Knick-Senkfuß – 1-Jahres Follow-Up-Analyse des Gangbildes und der plantaren Druckverteilung – eine Pilotstudie

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Jonas Paul Pape

geboren in Paderborn

Marburg, 2021

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
19.02.2021

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekanin: Frau Prof. Dr. D. Hilfiker-Kleiner

Referent: Herr Prof. Dr. C.-D. Peterlein

1. Korreferent: Herr PD Dr. M. Vahdad

II

Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver der
Philipps-Universität Marburg
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer
Creative Commons
Namensnennung
Keine kommerzielle Nutzung
Weitergabe unter gleichen Bedingungen
3.0 Deutschland Lizenz.

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	IX
1. Einleitung	- 1 -
1.1. Epidemiologie.....	- 1 -
1.2. Pathophysiologie und Klinik.....	- 2 -
1.3. Klinische und apparative Diagnostik.....	- 4 -
1.4. Therapieansätze und Indikationsstellung zur Arthrorise	- 6 -
1.5. Aktuelle Studienlage.....	- 8 -
1.6. Zielsetzung der Arbeit	- 10 -
2. Material und Methoden.....	- 12 -
2.1. Studiendesign	- 12 -
2.2. Patientenkollektiv	- 12 -
2.3. Operationstechnik	- 13 -
2.4. Verwendete Messinstrumente	- 14 -
2.4.1. Ganganalyse.....	- 14 -
2.4.2. Pedobarografie.....	- 16 -
2.4.3. AOFAS-Score	- 17 -
2.4.4. VAS FA	- 18 -
2.5. Ablauf der Datenerhebung	- 18 -
2.6. Auswertung der Daten.....	- 21 -
3. Ergebnisse	- 22 -
3.1. Altersstatistik.....	- 22 -
3.2. Ganganalyse.....	- 23 -
3.3. Pedobarografie.....	- 25 -
3.4. AOFAS.....	- 29 -
3.5. VAS FA	- 30 -
3.6. Korrelationsanalysen.....	- 31 -
3.6.1. Korrelationsanalyse der präoperativen Messreihe.....	- 31 -
3.6.2. Korrelationsanalyse der zeitlichen Differenzen als Folge der Arthrorise	- 33 -
4. Diskussion.....	- 36 -
4.1. Zusammenfassung der Hauptergebnisse	- 36 -
4.2. Diskussion der Methoden	- 36 -
4.3. Diskussion der Ergebnisse	- 40 -

5. Zusammenfassung.....	- 50 -
5.1. Introduction	- 50 -
5.2. Methods	- 50 -
5.3. Results	- 51 -
5.4. Discussion.....	- 51 -
6. Literaturverzeichnis	- 53 -
7. Anhang.....	- 59 -
7.1. American Orthopaedic Foot and Ankle Society Score	- 59 -
7.2. Visuelle Analogskala Fuß und Sprunggelenk	- 63 -
7.3. Messgitter zur Auswertung der VAS FA	- 65 -
7.4. Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung	- 66 -
8. Verzeichnis der akademischen Lehrer	- 70 -
9. Danksagung	- 71 -

Abkürzungsverzeichnis

- AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society
- AW_D: Achillessehnenwinkel, dynamisch gemessen
- AW_S: Achillessehnenwinkel, statisch gemessen
- FB_D: Fersenbodenwinkel, dynamisch gemessen
- FB_S: Fersenbodenwinkel, statisch gemessen
- FDL: Flexor digitorum longus-Sehne
- FHL: Flexor hallucis longus-Sehne
- K-Draht: Kirschner-Draht
- M.: Musculus
- n: Anzahl
- OSG: Oberes Sprunggelenk
- P.: Punkte
- Pedo_D: Pedobarografische Messung des Gesamtfußes, dynamisch
- Pedo_S: Pedobarografische Messung des Gesamtfußes, statisch
- PTT: Tibialis posterior Sehne
- SD: Standardabweichung
- USG: Unteres Sprunggelenk
- VAS FA: Visuelle Analogskala Fuß und Sprunggelenk

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausgeprägter einseitiger Knick-Senkfuß in ventraler (li.) und dorsaler Ansicht (re.) mit deutlich sichtbarer Valgusstellung des Rückfußes und abgeflachtem Längsgewölbe.....	- 1 -
Abbildung 2: Einteilung des Knick-Senkfußes nach der Viladot-Klassifikation. Grad 1-4 von links nach rechts (Giannini et al. 2017).....	- 5 -
Abbildung 3: Belastete laterale Röntgenaufnahmen präoperativ (li.) und ein Jahr postoperativ (re.).....	- 8 -
Abbildung 4: Ganglabor der Orthopädiefirma Kaphingst® mit dem SPRINTEX Orhto® Lamellenlaufband	- 15 -
Abbildung 5: Currex Footplate® im Ganglabor der Firma Kaphingst®	- 17 -
Abbildung 6: Position der Klebepunkte bei der Ganganalyse (Hagen et al. 2019a).-	19 -
Abbildung 7: Winkel der ganganalytischen Messreihe	- 23 -
Abbildung 8: Auswertung der statischen und dynamischen Analyse des Achillessehnenwinkels	- 25 -
Abbildung 9: Auswertung der statischen und dynamischen Analyse des Fersenbodenwinkels	- 25 -
Abbildung 10: Unterteilungsmuster des Fußes bei der Pedobarografie in 6 Kompartimente	- 26 -
Abbildung 11: Druckverteilung in Prozent für den Gesamtfuß in der statischen (li.) und dynamischen (re.) Pedobarografie	- 27 -
Abbildung 12: Druckverteilung in Prozent für den Mittelfuß in der statischen (li.) und dynamischen (re.) Pedobarografie	- 27 -
Abbildung 13: Boxplot zu den Ergebnissen des Rück- und Mittelfußes des AOFAS-Scores der unterschiedlichen Messzeitpunkte	- 29 -
Abbildung 14: Boxplot zu den Ergebnissen der Unterkategorien der VAS FA der unterschiedlichen Messzeitpunkte	- 30 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Statistik zur Altersverteilung	- 22 -
Tabelle 2: Deskriptive Statistik zur Ganganalyse	- 24 -
Tabelle 3: Druckverteilung in Prozent des Gesamtfußes und der einzelnen Fußbereiche der statischen und dynamischen Pedobarografie.....	- 28 -
Tabelle 4: Deskriptive Statistik zum AOFAS-Score	- 29 -
Tabelle 5: Deskriptive Statistik zur VAS FA.....	- 30 -
Tabelle 6: Korrelationsanalyse der präoperativen Ausgangswerte der relevantesten Parameter.....	- 32 -
Tabelle 7: Korrelationsanalyse der zeitlichen Differenz der relevantesten Parameter-	35
-	
Tabelle 8: Ergebnisse der ganganalytischen Winkel im Vergleich zum physiologischen Zielbereich	- 42 -

1. Einleitung

Der Knick-Senkfuß (pes planovalgus) ist eine komplexe und häufige Fehlstellung des Fußes im Kindes- und Erwachsenenalter. Die Deformität setzt sich aus zwei unterschiedlichen Komponenten zusammen: einer Abflachung des medialen Längsgewölbes und einer Valgusstellung der Ferse unter Belastung (siehe Abbildung 1) (Giannini et al. 2017; Pellegrin et al. 2014; Faldini et al. 2017; van Ooij et al. 2012; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Sie tritt gewöhnlich beidseitig auf. Obwohl sie im Kindesalter meist klinisch inapparent und selbstlimitierend verläuft, kann sie dennoch bei früher Symptomatik und Persistenz ins Erwachsenenalter komplikationsreich verlaufen (Jerosch et al. 2009) und zu einem hohen Leidensdruck führen (Aldebeyan et al. 2018). Eine frühzeitige Therapie noch in der Wachstumsphase des Fußes ist dabei entscheidend. Die Evidenz der Therapiemöglichkeiten wird in der Literatur noch immer als lückenhaft angegeben, zumal es an validierten Methoden und Parametern zur Bestimmung des Outcomes fehlt (Metcalfe et al. 2011).



Abbildung 1: Ausgeprägter einseitiger Knick-Senkfuß in ventraler (li.) und dorsaler Ansicht (re.) mit deutlich sichtbarer Valgusstellung des Rückfußes und abgeflachtem Längsgewölbe

1.1. Epidemiologie

Die Prävalenz des Knick-Senkfußes liegt bei Kindern unter 6 Jahren bei bis zu 97% und ist in diesem Alter als physiologisch zu werten (Dare und Dodwell 2014; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Im Verlauf kommt es bei einem Großteil der Kinder zu einer spontanen Korrektur bis zum Alter von 10 Jahren (Arbab et al. 2017; Bernasconi et al. 2017; Forriol und Pascual 1990), weshalb die Entwicklung der Fehlstellung in der ersten Lebensdekade zunächst abzuwarten ist (Volpon 1994; Pellegrin et al. 2014; Bernasconi et al. 2017; Pellegrin 2005; Singh et al. 2010). Ein Ausbleiben der Korrektur wird bei etwa 2-3% der Kinder angegeben und kann

im Verlauf zu Beschwerden und einer Persistenz der Fehlstellung führen (Arbab et al. 2017). Gründe für ein Ausbleiben der spontanen Korrektur sind unzureichend geklärt (Bernasconi et al. 2017).

Abweichungen in der Epidemiologie konnten u.a. zwischen ethnischen Gruppen festgestellt werden, mit einer höheren Inzidenz und klinischen Relevanz in der farbigen im Vergleich zur kaukasischen Bevölkerung (Mosca 2010). Die Prävalenz wird zudem von drei Faktoren signifikant beeinflusst: dem Alter, dem Geschlecht und dem Gewicht der Patienten (Pfeiffer et al. 2006; Saldívar-Cerón et al. 2015). Bei übergewichtigen Kindern und Jugendlichen im Alter von 3 bis 6 Jahren konnte ein bis zu 20% höheres Auftreten als bei normalgewichtigen Kindern desselben Alters nachgewiesen werden (Dare und Dodwell 2014). Jungen sind etwas häufiger betroffen als Mädchen (Pfeiffer et al. 2006). Am häufigsten betroffen sind Kinder bis zu einem Alter von 6 Jahren, danach nimmt die Prävalenz signifikant ab (Vergara-Amador et al. 2012; Bosch et al. 2010). Regionale Unterschiede lassen zudem auf eine Beeinflussung durch kulturelle und soziale Aspekte schließen (Vergara-Amador et al. 2012). Weitere Risikofaktoren für das Vorliegen eines Knick-Senkfußes sind neurogene Erkrankungen, die mit einer muskulären Hypotonie oder Laxizität der Bandstrukturen einhergehen, wie u.a. Trisomie 21 und das Rett-Syndrom (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). In diesem Fall handelt es sich jedoch um eine eigene Untergruppe der neurogen flexiblen Knick-Senkfüße.

1.2. Pathophysiologie und Klinik

Der Knick-Senkfuß setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: der Valgusstellung im Rückfuß und dem Kollabieren des Längsgewölbes bei Belastung (Giannini et al. 2017; Pellegrin et al. 2014; Faldini et al. 2017; van Ooij et al. 2012). Klinisch und pathogenetisch ist dabei ein flexibler von einem rigiden Knick-Senkfuß zu unterscheiden. Die Unterteilung beruht auf einer passiven Korrigierbarkeit der Fehlstellung und ist für die weitere Therapie von entscheidender Bedeutung (Haendlmayer und Harris 2009).

Bei einem rigiden Knick-Senkfuß liegt eine fixierte Fehlstellung mit Minderbeweglichkeit im Mittel- und Rückfuß vor (Haendlmayer und Harris 2009). Sie ist weder aktiv noch passiv korrigierbar. Ursachen eines rigiden Knick-Senkfußes können dabei eine talocalcaneale Coalitio, rheumatoide oder post-traumatische Arthritiden, eine peroneale Spastik oder eine Kontraktur der Achillessehne sein (Bernasconi et al. 2017; Mosca 2010; Haendlmayer und Harris 2009). Therapeutisch kann die rigide Fehlstellung nur durch invasive operative Verfahren angegangen werden.

Ein flexibler Knick-Senkfuß zeichnet sich demgegenüber dadurch aus, dass die Fehlstellung aktiv durch Muskelkontraktion oder passiv durch den Untersucher auszugleichen ist (Faldini et al. 2017; Arbab et al. 2017; Bernasconi et al. 2017; Pellegrin et al. 2014). Dies kann beobachtet werden, indem sich beim Zehenspitzenstand des Patienten oder bei passivem Anheben der Großzehe (sogenannter Jack's Test) das Fußlängsgewölbe wieder aufrichtet (Arbab et al. 2017; Bernasconi et al. 2017; Faldini et al. 2017). Durch die dabei entstehende Extension der Zehen kommt es beim flexiblen Knick-Senkfuß zu einer reflektorischen Verspannung der Plantarfaszie und somit zu einem Aufrichten des Längsgewölbes (Faldini et al. 2017). Ebenfalls stabilisiert sich dadurch das Talonaviculargelenk, weshalb sich die Eversion im Rückfuß weitgehend aufhebt (Faldini et al. 2017).

Die Pathogenese des flexiblen Knick-Senkfußes ist bis heute nicht abschließend geklärt (Mosca 2010). Mehrere Autoren sehen eine Laxizität der Bandstrukturen und eine gutartige muskuläre Hypotonie als Ursache der Fehlstellung an, da die Statik des Fußgewölbes maßgeblich durch ein Zusammenspiel aus Knochen und Bändern bestimmt wird (Bernasconi et al. 2017; Mosca 2010; Pellegrin 2005; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). In der Literatur wird er jedoch meist als idiopathisch klassifiziert (Abbara-Czardybon et al. 2014; Bernasconi et al. 2017; Giannini et al. 2017; Pellegrin et al. 2014; Roth et al. 2007). Der flexible pes planovalgus beim Erwachsenen wird in Zusammenhang mit einer Dysfunktion der Sehne des M. tibialis posterior beschrieben, jedoch besteht hier keine Einigkeit darüber, ob dies Folge oder Ursache der Fehlstellung ist (Giannini et al. 2017; Faldini et al. 2017; Haendlmayer und Harris 2009).

Klinisch ist der kindliche Knick-Senkfuß zumeist asymptomatisch (Jerosch et al. 2009; Bernasconi et al. 2017; Faldini et al. 2017; Giannini et al. 2017; Pellegrin 2005; Sullivan 1999). Arztbesuche finden daher in diesem Stadium eher aufgrund der kosmetischen Auffälligkeiten statt. Hier bedarf es jedoch einer genauen Diagnostik und weiteren Nachverfolgung der Patienten (Michaudet 2018). Bei ausbleibender Korrektur oder Dekompensation der Fehlstellung kann auch ein zunächst asymptomatischer Fuß im späteren Verlauf Probleme bereiten (Abbara-Czardybon et al. 2014). Ist ein Knick-Senkfuß symptomatisch, leiden die Patienten an Schmerzen im Rück- und Mittelfußbereich und schneller Ermüdbarkeit des Fußes oder Sprunggelenks bei Belastung. Weiterhin können Schmerzen im Bereich des unteren Rückens, der Kniegelenke und der Hüfte auftreten. Eine übermäßige Beschwielung des medialen Fußrandes korreliert häufig. Zusätzlich können Gangstörungen auftreten (Faldini et al. 2017; Jerosch et al. 2009; Faldini et al. 2018; Haendlmayer und Harris 2009).

Im Erwachsenenalter kann der flexible Knick-Senkfuß neben einer einfachen Schmerzsymptomatik teils zu schweren Komplikationen führen. In der Literatur werden dabei die Ausprägungen eines Hallux valgus/rigidus, subtalare und metatarsale Osteoarthritiden, Morton-Neurone, Dysfunktionen der Sehne des M. tibialis posterior und Tarsaltunnelsyndrome beschrieben (Faldini et al. 2017; Jerosch et al. 2009; Bernasconi et al. 2017). Die Therapie dieser komplizierten Verläufe gestaltet sich meist sehr schwierig, wobei teilweise aufwändige Operationen nötig werden (Jerosch et al. 2009).

Eine frühzeitige Therapie des symptomatischen Knick-Senkfußes ist demnach entscheidend für den weiteren Verlauf der Erkrankung. Insbesondere wenn eine Intervention noch während des Fußwachstums durchgeführt wird, kann zumeist eine Fixierung der Fehlstellung mit dem Auftreten von Komplikationen vermieden werden (Jerosch et al. 2009).

1.3. Klinische und apparative Diagnostik

Die Diagnostik des Knick-Senkfußes umfasst eine umfangreiche Anamnese und klinische Untersuchung und wird in der Regel durch belastete Röntgenaufnahmen des Fußes in zwei Ebenen ergänzt. Zu Beginn sollten eine Erhebung der Risikofaktoren, eine Familienanamnese und eine spezielle Anamnese zur Fußpathologie erfolgen (Kellermann et al. 2011; Giannini et al. 2017; Jerosch et al. 2009; Pavone et al. 2013; Pellegrin et al. 2014; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Anschließend ist eine klinische Untersuchung der Fehlstellung richtungsweisend. Hier sollte auch die Unterteilung in die flexible und rigide Form wie oben beschrieben durchgeführt werden (Giannini et al. 2017; Pellegrin et al. 2014; Arbab et al. 2017; Faldini et al. 2017). Relevant für die klinische Untersuchung sind optische Auffälligkeiten im Gangbild und im Stand als Hinweise für das Vorliegen der Fehlstellung. Beispielsweise kann dabei das Too-many-Toes sign beobachtet werden, wobei durch die übermäßige Valgusstellung des Rückfußes die lateralen Zehen nicht durch den Unterschenkel des Patienten verdeckt werden und vermehrt zu sehen sind (Faldini et al. 2017; Needleman 2005). Weiter sollte auf pathologische Beschwielungen geachtet werden. Das Erfragen von Problemen und Druckstellen beim Tragen von Schuhen und besondere Abnutzungen des getragenen Schuhs kann weitere Hinweise liefern (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017).

Nach der Viladot-Klassifikation kann der Knick-Senkfuß in vier Schweregrade unterteilt werden (Viladot 1954). Dabei bezieht sich Viladot auf die geometrische Vermessung von Podogrammen (siehe Abbildung 2) (Wirth und Arnold 2002). Ein klinischer Nutzen dieser

Einteilung findet sich jedoch kaum. Sie wird dementsprechend vor allem in klinischen Studien angewendet, um als Maßstab für den Therapieerfolg zu dienen (Giannini et al. 2017; Jerosch et al. 2009).

Grad 1: Das Verhältnis des größten zum kleinsten Querdurchmesser liegt bei <2 .

Grad 2: Eine mediale Abbildung des Fußrandes ist sichtbar, bei noch teilweise erhaltenem Längsgewölbe.

Grad 3: Das Längsgewölbe ist aufgehoben.

Grad 4: Das Verhältnis der Querdurchmesser der Fußwurzel zum Vorfuß beträgt >1 (Wirth und Arnold 2002).



Abbildung 2: Einteilung des Knick-Senkfußes nach der Viladot-Klassifikation. Grad 1-4 von links nach rechts (Giannini et al. 2017)

Bei rigidem oder symptomatischem flexiblem Knick-Senkfuß ist die belastete Röntgenaufnahme Standarddiagnostik (Abbara-Czardybon et al. 2014; Arbab et al. 2017; Faldini et al. 2017; Kellermann et al. 2011; Pellegrin 2005; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Dabei wird zumeist der Talus-Metatarsale-I-Winkel oder der Costa-Bartani-Winkel bestimmt, um das Ausmaß der Fehlstellung abzuschätzen (Arbab et al. 2017; Pellegrin 2005; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Ein standardisierter Rahmen für die Bewertung eines kindlichen Knick-Senkfußes liegt bisher jedoch nicht vor, zumal die publizierten Normwerte der radiologischen Parameter eine gewisse Streubreite aufweisen (Evans und Rome 2011). Obwohl die belastete Röntgenaufnahme apparative Diagnostik der ersten Wahl ist und entsprechend in Studien häufig als Outcomeparameter verwendet wird, konnte bisher keine Beziehung zum klinischen

Ergebnis des Patienten nachgewiesen werden (Metcalf et al. 2011; Moraleda und Mubarak 2011; Yan et al. 2013).

Die Ganganalyse bietet entsprechende Möglichkeiten die Diagnostik zu komplettieren. Sie wird in der aktuellen Leitlinie als weiterführende Diagnostik bei spezifischer Fragestellung empfohlen (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Dabei soll insbesondere die Laufbandanalyse weitere Informationen zum Bewegungsablauf und zur Achsstellung in Becken, Knie und Sprunggelenk liefern. Die Pedobarografie kann dies um Spitzendrücke und Details zum Abrollverhalten des Fußes ergänzen (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Trotz des hohen Potenzials der Ganganalyse in der Diagnostik des kindlichen Knick-Senkfußes ist die Studienlage hierzu gering. Entsprechend wird die Einschätzung dieser Aufnahmen bisher der rein optischen Beurteilung des Untersuchers überlassen. Messbare Parameter mit entsprechenden Referenzdaten zur Quantifizierung der Fehlstellung wurden für die Ganganalyse bisher nicht publiziert.

Die bisherigen Ergebnisse unserer Arbeitsgruppe konnten hierzu für den kurzfristigen postoperativen Verlauf schon erste Erkenntnisse liefern (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b), die in diesem 1-Jahres Follow-Up vervollständigt werden sollen.

1.4. Therapieansätze und Indikationsstellung zur Arthrorise

Wird die Diagnose eines flexiblen Knick-Senkfußes gestellt, kann bei asymptomatischem Verlauf und bei Kindern unter 6 Jahren zunächst ein abwartendes Vorgehen gewählt werden (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Eine Versorgung mit Einlagen ist in der Literatur umstritten (Arbab et al. 2017; Needleman 2005; Pellegrin 2005; Pellegrin et al. 2014; Rome K, Ashford RL, Evans A et al. 2010). Innerhalb der Entwicklungsphase des Längsgewölbes sollte von Einlagen eher abgesehen werden, da es sonst zur mangelhaften Ausbildung der unterstützenden Muskulatur kommen kann (Wirth und Arnold 2002). Insbesondere bei asymptomatischen Kindern unter 6 Jahren ohne neuromuskuläre Erkrankungen ist eine Orthesenversorgung nicht empfohlen (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Die Indikation zur Einlagenversorgung besteht dennoch bei symptomatischen Verlaufsformen und rigiden Knick-Senkfüßen. Hierbei sollten sensomotorische Einlagen beim flexiblen Knick-Senkfuß bevorzugt werden (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017; Aminian et al. 2013), die Versorgung mit rein mechanischen Einlagen konnte in

unterschiedlichen Studien keinen positiven Effekt auf die Fußentwicklung nachweisen (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017; Jane MacKenzie et al. 2011; Kanatli et al. 2016). Additiv kann den Kindern ein Heimprogramm mit Fußgymnastik und Physiotherapie empfohlen werden (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017).

Die Indikationsstellung zur operativen Versorgung des flexiblen Knick-Senkfußes gestaltet sich noch immer schwierig und sollte eher streng gestellt werden (Bernasconi et al. 2017; Faldini et al. 2017). Dabei sollte immer auch der zeitliche Verlauf im Hinblick auf Klinik, Symptomatik und apparative Diagnostik berücksichtigt werden (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Die funktionelle Ganganalyse könnte hier helfen, die Verlaufsbeurteilung zu quantifizieren und die Indikationsstellung zu erleichtern. Eine ausreichende Studienlage liegt dazu aber bisher nicht vor. Die eindeutige Indikation zur operativen Therapie besteht laut De Pellegrin (Pellegrin 2005) bei einer einseitigen Fehlstellung, um die Körpersymmetrie wiederherzustellen, sowie bei deutlich ausgeprägter Bandlaxizität, da hier keine spontane Korrektur zu erwarten ist. Weiterhin sollte bei Schmerzen im medialen Fußbereich, v.a. im Bereich des Ansatzes der Tibialis posterior Sehne und bei einer ausgebliebenen Korrektur bis spätestens zum 11. Lebensjahr die operative Versorgung der Fehlstellung empfohlen werden (Pellegrin 2005). Als richtiges Alter für die operative Therapie wird in der Literatur zumeist ein Zeitraum zwischen dem 7. und dem 14. Lebensjahr als zielführend angegeben (Roth et al. 2007; Pavone et al. 2013; Needleman 2005; Kellermann et al. 2011; Jerosch et al. 2009; Giannini et al. 2017; Faldini et al. 2018; Faldini et al. 2017). Somit kann die Möglichkeit der spontanen Korrektur abgewartet werden, der Fuß besitzt aber noch genügend Wachstumspotenzial für die Wirkung der Arthrorise (Abbara-Czardybon et al. 2014). Diese Empfehlung deckt sich mit der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie, die ein Alter zwischen 7 und 10 Jahren empfiehlt (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017).

Die häufigste Operationsmethode des kindlichen flexiblen Knick-Senkfußes ist dabei die subtalare Arthrorise (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Hierbei verhindert eine mechanische Blockierung die Beweglichkeit des Talus gegenüber dem Kalkaneus. Bei der von De Pellegrin beschriebenen Technik wird dabei eine Spongiosaschraube in den Kalkaneus eingebracht, um als Anschlagpunkt für den Processus lateralis tali zu dienen (siehe Abbildung 3). Diese Calcaneo-Stop-Technik verhindert so eine übermäßige Valgus- und Pronationsstellung des Kalkaneus ebenso wie eine mediale Verschiebung des Talus (Pellegrin 2005).

Neben der mechanischen Wirkung vermuten einige Studien zudem eine Stimulierung neuropropriozeptiver Rezeptoren innerhalb des Canalis tarsi (Arbab et al. 2017; Giannini et al. 2017; Jerosch et al. 2009; Kellermann et al. 2011; Roth et al. 2007). Hierdurch sollen die Sehnen des M. extensor digitorum longus und des M. peroneus tertius in ihrer Bewegung im USG korrigierend beeinflusst werden (Arbab et al. 2017; Abbara-Czardybon et al. 2014). In der Literatur wird dieser Effekt auch als „active self-correction“ beschrieben (Roth et al. 2007; Giannini et al. 2017).

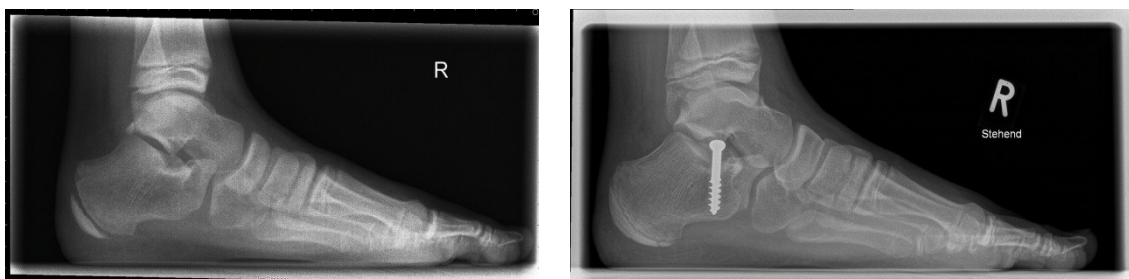


Abbildung 3: Belastete laterale Röntgenaufnahmen präoperativ (li.) und ein Jahr postoperativ (re.)

Postoperativ kann direkt mit aktiven Bewegungsübungen im OSG begonnen werden (Pellegrin 2005; Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Der Fuß kann schmerzadaptiert vollbelastet werden (Abbara-Czardybon et al. 2014), eine Sportkarenz wird für ca. 4 Wochen empfohlen (Abbara-Czardybon et al. 2014; Pellegrin 2005). Anschließend können zuvor betriebene Sportarten in gleicher Dauer, Art und Häufigkeit wiederaufgenommen werden (Martinelli et al. 2018). Der Patient sollte sich nach einem Jahr zu einer Kontrolluntersuchung in der Ambulanzsprechstunde einfinden. Das Entfernen der Schraube wird nach 2-3 Jahren empfohlen, jedoch nicht vor Abschluss des Fußwachstums (bei Mädchen mit ca. 12 Jahren, bei Jungen mit ca. 14 Jahren) (Jerosch et al. 2009). Nach der Materialentfernung bleibt das Längsgewölbe in seiner aufgerichteten Form erhalten, ein Verlust der erreichten Korrektur wurde in einer Langzeitstudie nicht beobachtet (Abbara-Czardybon et al. 2014).

1.5. Aktuelle Studienlage

Ein Überblick über die aktuelle Literatur zum Thema der Schraubenarthrorise nach dem Calcaneo-Stop-Verfahren zeigt überwiegend gute und sehr gute Ergebnisse. So berichteten unter anderem Arbab et al. 2017 (Arbab et al. 2017) in einer Studie mit 41 Patienten von 95% zufriedenen oder sehr zufriedenen Patienten. Ebenso konnten auch signifikante Verbesserungen in allen gemessenen radiologischen Parametern

nachgewiesen werden. Komplikationen waren dabei selten. Schraubenbrüche oder Dislokationen traten nicht auf. Lediglich in 2 Fällen (2,6%) musste die Schraube vorzeitig entfernt werden, in einem davon (Wundheilungsstörung) konnte eine spätere Reimplantation erfolgen.

Pavone et al. berichteten 2013 ebenfalls in einer Studie mit 242 Patienten von 97% guten und sehr guten Ergebnissen der Patientenzufriedenheit und einer signifikanten Verbesserung der radiologischen Parameter. Eine Valgusstellung des Rückfußes konnte nur noch bei 2,92% der Patienten nachgewiesen werden (präoperativ 100%) und ein normaler Fußabdruck wurde bei 80% der Patienten erreicht (präoperativ 9,02%). Eine Schraubenlockerung trat in 0,83% der Fälle auf, ein Schraubenbruch wurde nicht berichtet. Bei 11,98% der Patienten wurden kleinere Komplikationen wie Schmerzen an der Operationsnarbe, lokale Symptome an der Inzision, oberflächliche Infekte oder Kontrakturen des Peroneusmuskels beobachtet (Pavone et al. 2013).

De Pellegrin berichtete in einer retrospektiv erhobenen Studie aus 2014 über die Behandlung von 485 Patienten. Der Altersdurchschnitt der operierten Kinder betrug $13,5 \pm 1,8$ Jahre. Darin konnten 93,7% gute Resultate erzielt werden. Als Kriterien galten Verbesserungen in den klinischen und radiologischen Parametern, sowie das Ausbleiben von Komplikationen und eine Normalisierung der Fußfunktion. Die Komplikationsrate lag bei 6,3% und beinhaltete schmerzhafte Kontrakturen des M. peroneus und Sprunggelenksergüsse (Pellegrin et al. 2014).

In einer Metaanalyse zur subtalaren Arthrorise beim flexiblen Knick-Senkfuß mittels verschiedener Verfahren von Metcalfe et al. 2011 wurden 76 Publikationen eingeschlossen (Metcalfe et al. 2011). Darin wurde unter anderem kritisiert, dass nur eine Studie Parameter zur Auswertung verwendete, die dem Alter der Patienten und dem spezifischen Krankheitsbild gerecht wurden. Die Erhebung der Patientenzufriedenheit wurde in keiner der Studien mit einem Score erhoben, der spezifisch den Fuß bei Kindern betrachtete und es wurde nicht vermerkt, ob die Fragebögen von den Eltern oder den Patienten selber ausgefüllt wurden. Als validiertes Outcometool spezifisch für den Fuß nannten Metcalfe et al. lediglich den AOFAS-Score, auch wenn dieser nicht speziell auf Kinder ausgerichtet sei. Weiterhin bemängelten die Autoren, dass in fast allen Studien radiologische Parameter als Outcometool herangezogen wurden, obwohl bisher kein klarer Zusammenhang zu dem klinischen Status der Patienten belegt wurde. Auch wurden teils sehr unterschiedliche Winkel zur Messung verwendet und die Messmethoden und Kriterien nicht klar deklariert. Zudem betonten die Autoren, dass ein Röntgenbild in der Auswertung stark von der befundenden Person abhängig und die korrekte Ebene des Röntgens nicht immer gut

reproduzierbar sei. Eine Vergleichbarkeit der Bilder sei zudem nach einem Jahr Fußwachstum nicht vollständig gegeben. Demgegenüber konnten Davids et al. in einer Untersuchung zur quantitativen Analyse von belasteten Röntgenaufnahmen des Kindes eine sehr geringe Inter- und Intraobserver-Variabilität nachweisen (Davids et al. 2005).

Die Ganganalyse wurde bisher in den Studien zum kindlichen flexiblen Knick-Senkfuß nur selten herangezogen. Dabei zeigten schon Lampe et al. 2004, dass die Ganganalyse sehr detaillierte Ergebnisse zu Fußpathologien aufzeigen kann und die Dynamik des Fußes hierbei besser erfasst wird als mit herkömmlicher Diagnostik (Lampe et al. 2004).

Böhm et al. konnten mittels Ganganalyse nachweisen, dass eine Eversionsstellung des Rückfußes anstelle einer Inversion in der Push-Off Phase des Gangzyklus ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen einem kompensierten und einem dekompensierten Knick-Senkfuß bilden kann (Böhm et al. 2019), was die operative Indikationsstellung erleichtern könnte. Shin et al. zeigten, dass das Ausmaß der Fehlstellung des Knick-Senkfußes auch mit der Schwere der Kinematikstörung des Fußes korreliert (Shin et al. 2019). Als erste prospektive Studie verglichen Caravaggi et al. zwei Arthrorisemethoden mittels radiologischer und ganganalytischer Aufnahmen auf ihre Wirksamkeit. Beim Vergleich der Calcaneo-Stop-Technik mit einem Sinus tarsi Implantat konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Methoden nachgewiesen werden (Caravaggi et al. 2018).

1.6. Zielsetzung der Arbeit

Eine prospektive Interventionsstudie, welche das Outcome der Schraubenarthrorise mittels Ganganalyse, Pedobarografie und Fragebögen auf seine klinischen, funktionellen und symptomatischen Veränderungen hin untersucht, steht bisher noch aus. Wir möchten daher untersuchen, ob sich die in der Literatur beschriebenen guten Ergebnisse der Schraubenarthrorise auch in Verbesserungen des Gangbildes und der Druckverteilung widerspiegeln und sich Korrelationen zu den Veränderungen in Klinik und Symptomatik ergeben.

Für den unmittelbar postoperativen Verlauf konnte unsere Arbeitsgruppe dabei in vorausgegangenen Datenerhebungen erste Ergebnisse erzielen (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b).

Ziel dieser Erhebung und meines Dissertationsprojekts ist es, die Studienpopulation ein Jahr nach erfolgter Schraubenarthrorise nach De Pellegrin zu untersuchen. Dabei werden die Pedobarografie und die Ganganalyse als Methoden zur Erhebung des

Outcomes herangezogen. Es soll untersucht werden, wie sich nach einem Jahr die Achsstellungen, das Gangbild und die plantare Druckverteilung im Vergleich zu den präoperativen und 28-Tage-postoperativen Ergebnissen verhalten.

In einem zweiten Teil dieser Studie untersuchten wir, ob Zusammenhänge zwischen den gang- und standanalytischen Daten der Ganganalyse und der Pedobarografie mit den Ergebnissen der auf Funktion und Schmerz bezogenen Fragebögen nachzuweisen sind.

Die Ergebnisse sollen dabei neue Erkenntnisse über das klinische Outcome der Schraubenarthrorise nach De Pellegrin und den Nutzen einer ganganalytischen Untersuchung in der Diagnostik und Nachverfolgung des kindlichen Knick-Senkfußes in einem prospektiven Design liefern.

2. Material und Methoden

Die Studie ist nach den allgemein anerkannten Regeln „Guter Wissenschaftlicher Praxis“ durchgeführt worden. Ein positives Ethikvotum zur Durchführung der Studie wurde eingeholt.

2.1. Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine prospektive Erhebung, die von Oktober 2016 bis August 2018 am Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Marburg, durchgeführt wurde. Eine Kontrollgruppe wurde nicht hinzugezogen, da es sich um eine Pilotstudie handelt und die angewendeten Messverfahren zunächst auf ihre Wirksamkeit und Sinnhaftigkeit überprüft werden sollen.

In einer vorausgegangenen Studie unserer Arbeitsgruppe wurden bereits die Ergebnisse der Schraubenarthrorise nach De Pellegrin im kurzzeitigen Verlauf untersucht (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b). Hierbei bezog sich die Arbeit auf die unmittelbaren postoperativen Veränderungen in einem Untersuchungszeitraum von präoperativ, drei Tage postoperativ, 14 Tage postoperativ und 28 Tage postoperativ. Als Ergebnis konnten hoch signifikante Verbesserungen der Fußstellung und der Symptomatik nachgewiesen werden. Zur weiteren Nachevaluation wurden die Patienten zu einer erneuten Untersuchung nach einem Jahr eingeladen. Die Ergebnisse dieser 1-Jahres Follow-Up Untersuchung (post_1y) sollen in dieser Arbeit dargestellt werden. Die Daten der Messzeitpunkte präoperativ (pre) und 28 Tage postoperativ (post_28) der vorausgegangenen Studie wurden als Referenzwerte für die Verlaufsbeurteilung dieser Nachuntersuchung herangezogen.

2.2. Patientenkollektiv

Eingeladen zur Teilnahme an der Studie waren alle Patienten, die an den vorausgehenden präoperativen und 28-Tage-postoperativen Untersuchungen der Vorstudie (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b) teilgenommen haben.

Einschlusskriterien für die vorangegangenen Studien waren:

- Patienten mit idiopathischem flexiblen Knick-Senkfuß mit Schmerzen und/oder progredienter klinischer Fehlstellung.
- Alter zwischen 10 und 14 Jahren, vor Abschluss des Fußwachstums.

- Anamnestisch schnelle Ermüdbarkeit der Füße.
- Pathologischer Costa-Bartani-Winkel und/oder pathologischer Kalkaneus-Bodenwinkel in den belasteten Röntgenaufnahmen.
- Versagen konservativer Therapieversuche.

Ausschlusskriterien waren:

- Vorliegen einer Coalitio im Rückfußbereich.
- Alter kleiner als 10 oder größer als 14 Jahre, bzw. abgeschlossenes Fußwachstum mit geschlossenen Epiphysenfugen.
- Posttraumatischer oder angeborener Knick-Senkfuß.

Als Zeitraum für die 1-Jahres Follow-Up-Untersuchung wurde ein Rahmen von 12 ± 2 Monaten nach der Operation festgelegt. Alle Patienten erklärten sich zu der Teilnahme an dieser fortführenden Studie bereit, wodurch sich eine Fallzahl von $n=14$ Patienten ($n=27$ Füße) ergibt. Von den ursprünglich 16 Patienten, die in die vorausgehende Studie eingeschlossen wurden, konnten zwei Patienten den Termin post_28 nicht wahrnehmen und wurden als „lost-to-follow-up“ gewertet.

2.3. Operationstechnik

Das Operationsverfahren der Calcaneo-Stop-Technik, das in dieser Studie angewandt wurde, richtet sich nach der von De Pellegrin im Jahr 2005 publizierten Technik (Pellegrin 2005). Der Patient wird dabei in Rückenlage gelagert, der Fuß befindet sich in Blutleere. Lateral auf Höhe des Sinus tarsi wird ein ca. 2 cm langer Hautschnitt durchgeführt, wonach sich der Operateur die wichtigsten Strukturen, wie das Fettpolster im Sinus tarsi und den M. extensor digitorum brevis am Ursprung, präpariert. Besonders geachtet wird auf einen Ast des Nervus suralis, der nicht verletzt werden sollte. Anschließend wird der Kalkaneus am Sinusboden und der Processus lateralis tali freigelegt. Unter forcierter Varisierung und Supination wird die kortikale Oberfläche am Kalkaneus präpariert und an dieser Stelle ein 2,0 mm Kirschner-Draht (K-Draht) in kraneo-kaudaler und dorso-ventraler Richtung eingebracht. Mit dem Bildverstärker wird die exakte Lage des K-Drahtes kontrolliert, anschließend wird dieser wieder entfernt. Weiter wird die Eintrittsstelle mit einem 3,2 mm Bohrer aufgesucht und in identischer Richtung vorsichtig gebohrt. Im Anschluss wird eine AO-Spongiosaschraube mit 6,5 mm Durchmesser und einer Länge zwischen 2,5 cm und 4,0 cm eingebracht und die Lage des Schraubenkopfes unterhalb des Processus lateralis tali kontrolliert. Der Operateur überprüft daraufhin, ob der Kalkaneus sich nun in richtiger Achsstellung zum gestreckten

Knie befindet. Bei Valgusfehlstellung sollte die Schraube wieder etwas aus dem Kalkaneus heraus-, bei Varusfehlstellung etwas weiter hineingeschraubt werden. Das Implantat sollte anschließend ohne Weichteilinterposition dem Processus lateralis tali anliegen und nach lateral mit Fettgewebe gedeckt sein, um eine Hautperforation zu vermeiden. Die Operation endet mit einer Subkutan- und Hautnaht, sowie der Wundversorgung. Als Modifikation des Verfahrens kann die Schraube auch von kaudal in den Processus lateralis tali eingebracht werden (Baker et al. 2013), wobei der Schraubenkopf dann dem Kalkaneus aufliegt (Pellegrin 2005; Kellermann et al. 2011).

2.4. Verwendete Messinstrumente

Zur Evaluation der erfolgten Therapie verwendeten wir verschiedene Messmethoden, die das klinische und subjektive Outcome des Patienten ermitteln sollten. Dabei untersuchten wir statische und dynamische Parameter der Füße mit Hilfe einer Ganganalyse und einer Pedobarografie. Zusätzlich erfolgte eine klinische Untersuchung nach dem Score der „American Orthopaedic Foot and Ankle Society“ (AOFAS Score) und die Erhebung des subjektiven Therapieerfolges mit der visuellen Analogskala Fuß und Sprunggelenk (VAS FA).

2.4.1. Ganganalyse

Die Ganganalyse wurde in einem 2D Lauflabor der Firma Kaphingst© in Marburg-Wehrda auf dem Lamellenlaufband „SPRINTEX Ortho®“ der Firma currex® durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein stufenlos verstellbares Lamellenlaufband, dessen einzelne Lamellen bis zu 4 cm flächenelastisch sind und somit einen möglichst natürlichen Lauf auf natürlichen Oberflächen simulieren (currex motion analysis solutions 2010). Das Laufband ist eigens für videobasierte Analysen entwickelt worden. Die Aufnahmen erfolgten über 2 HD-Kameras, die streng dorsal und lateral positioniert wurden. Im Hintergrund befand sich je eine Kalibrierungstafel zur optimierten Vermessung der Bewegungen (siehe Abbildung 4). Die Analyse der Kameradaten erfolgte über die zugehörige Videoanalysesoftware „Templo“ der Firma contemplas® und den Untermodulen „Modul 2D Haltungsanalyse“ für die statischen Aufnahmen und „Modul Lauf und Ganganalyse“ für die dynamischen Aufnahmen. Dabei wurden die Videosequenzen grafisch bearbeitet und die Winkel für den Achillessehnen- und Fersenbodenwinkel eingezeichnet, wobei wir uns an den Vorgaben von Gustafsson und Kriwat orientierten (Gustafsson und Kriwat 1998). In der statischen Aufnahme berechneten wir zusätzlich den Beinachsenwinkel der Kinder, in der dynamischen Aufnahme konnten weiterhin die Schrittlänge und die selbstgewählte

Ganggeschwindigkeit ermittelt werden. Als Rückfußwinkel bestimmten wir den Fersenboden- und den Achillessehnenwinkel sowohl in der statischen, als auch in der dynamischen Aufnahme.

Der Fersenbodenwinkel beschreibt dabei den Winkel zwischen der Senkrechten und der Achse durch die ersten beiden Klebepunkte, die vom Ober- und Unterrand des Kalkaneus gebildet werden (siehe Abbildung 7). Über den Fersenbodenwinkel erlangen wir Aufschluss über die Stellung des Kalkaneus beim Stand, wobei ein Winkel von 0° (ermitteltes $\alpha = 90^\circ$) einen vollständig aufrechten Rückfuß beschreibt, ein größerer Winkel hingegen von einem nach medial verkippten Kalkaneus zeugt. Die Bestimmung des Fersenbodenwinkels beschreibt die räumliche Lage des Kalkaneus gegenüber der Waagerechten und gibt so Aufschluss über das Ausmaß einer Valgusstellung des Rückfußes.

Der Achillessehnenwinkel wird als Winkel zwischen der Geraden, die durch den Ober- und Unterrand des Kalkaneus verläuft, sowie der Linie vom Ansatz der Achillessehne zum Übergang in die Muskelbäuche des M. Gastrocnemius gebildet (siehe Abbildung 7). Mit zunehmender Winkelgröße gibt er ebenfalls Hinweise auf das Ausmaß der Knickfußkomponente und Valgusstellung.



Abbildung 4: Ganglabor der Orthopädiefirma Kaphingst® mit dem SPRINTEX Orhto® Lamellenlaufband. Im Hintergrund sind die beiden Kalibrierungstafeln zu erkennen

2.4.2. Pedobarografie

Für die pedobarografischen Messungen wurde die „FOOTPLATE PRO®“ der Firma currex® verwendet. Hierbei handelt es sich um eine 5 mm hohe Platte zur dynamischen und statischen Fußdruckmessung (siehe Abbildung 5). Dabei werden über 4096 kapazitive Sensoren klinisch valide Daten über die Druckverteilung im Stehen, sowie während des Gangzyklus ermittelt. Hierbei können die Fußform und das Abrollverhalten bewertet werden. Über die Auswertungssoftware erhielten wir Daten über die gemessenen Drücke der einzelnen Sensoren in der Bewegung (currex motion analysis solutions). Die statische Aufnahme gibt dabei Aufschluss über die Lage des Körperschwerpunkts, die Druckverteilung unter beiden Füßen, sowie ob ein Fuß bevorzugt belastet wurde. Die dynamische Messung veranschaulicht die Druckverteilung und das Abrollverhalten während des Gangzyklus.

Für unsere Auswertung haben wir die dabei erhobenen Datensätze in eine Excel-Tabelle übertragen und als grafische Darstellung verrechnet. Den so dargestellten Fuß teilten wir optisch in sechs Bereiche ein (siehe Abbildung 10). Dabei wurde der Fuß zunächst durch die geometrischen Mittelpunkte von Ferse und Vorfuß in zwei Hälften unterteilt und anschließend durch zwei dazu senkrechte Linien die Abschnitte Vor-, Mittel- und Rückfuß bestimmt. Anschließend berechneten wir die anteilige Druckverteilung für die laterale und mediale Fußhälfte. Dafür setzten wir den erzeugten Gesamtdruck des Fußes als 100% und betrachteten die prozentualen Anteile für den medialen und lateralen Fußbereich. Ein ähnliches Vorgehen wendeten wir für den Vor-, Mittel-, und Rückfußbereich an. Hierbei betrachteten wir den durch Vor-, Mittel-, und Rückfuß erzeugten Druck jeweils als eigenen Bereich und berechneten erneut die Anteile für die jeweils laterale und mediale Hälfte.

Dies erlaubte es uns, die unterschiedlichen Gesamtdrucke der Füße der Patienten, die sich allein schon aufgrund der Gewichtsunterschiede und durch das Fußwachstum ergeben, auf einen einheitlichen Wert zu bringen und so leichter vergleichen zu können.

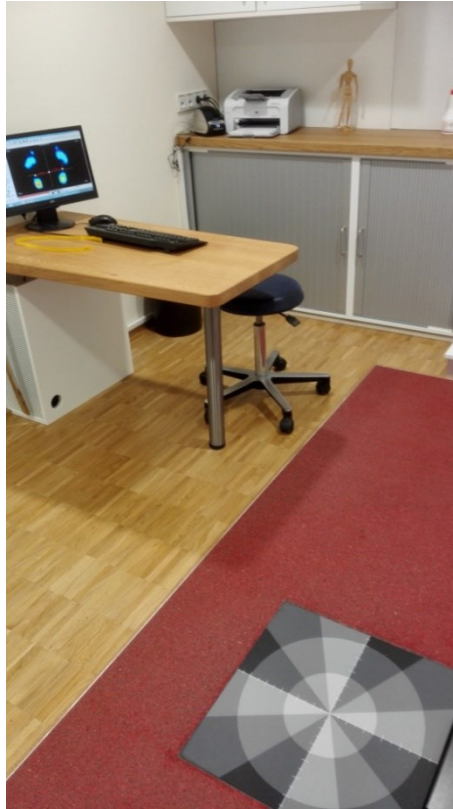


Abbildung 5: Currex Footplate® im Ganglabor der Firma Kaphingst® mit ausgewiesener 3,5m Gehstrecke

2.4.3. AOFAS-Score

Der AOFAS-Score (siehe Anhang) beinhaltet die Aspekte Schmerz, Funktion, Beweglichkeit, sichtbare Auffälligkeiten und orthopädische Hilfsmittel (Einlagen). Dabei wird der Fuß in vier Abschnitte unterteilt: Rückfuß, Mittelfuß, erster Strahl und zweiter bis vierter Strahl. Die Unterpunkte erfahren dabei unterschiedliche Wichtungen. So wird beispielsweise Schmerzfreiheit im Rückfuß mit 40 Punkten gewertet, was 40% der maximal erreichbaren Punkte dieses Abschnitts entspricht. Die funktionellen Aspekte des Rückfußes, unterteilt in Funktion, Gehstrecke, Gehen auf Oberfläche und Gangabnormalitäten, erreichen bei physiologischen Verhältnissen eine maximale Punktzahl von 28 Punkten. Die Beweglichkeit wird in sagittale Bewegung, Hinterfußbewegung und Gelenk-Hinterfuß-Stabilität unterteilt und kann mit maximal 22 Punkten gewertet werden. Zusätzlich werden die Achsstellungen untersucht, die mit weiteren 10 Punkten bei gut plantigradem Fuß gewertet werden können. Für den Mittelfuß und den Vorfußbereich werden die zu ermittelnden Parameter entsprechend angepasst, ähneln aber von der Wichtung denen des Rückfußes (Ibrahim et al. 2007; Macaulay et al. 2018; Toolan et al. 2001). In der Auswertung wurde für diese Studie insbesondere der Rück- und Mittelfuß berücksichtigt, da wir hier am ehesten von einer

Veränderung der Parameter durch die Arthrorise ausgingen. Die ermittelten Zahlenwerte wurden im Anschluss für die entsprechenden Abschnitte des Fußes summiert, wobei die maximal zu erreichende Punktzahl jeweils 100 betrug.

2.4.4. VAS FA

Die visuelle Analogskala Fuß und Sprunggelenk (siehe Anhang) besteht aus einem Fragebogen, bei dem der Patient auf einer nicht unterteilten horizontalen Linie zwischen zwei Extremen das für ihn zutreffende Ergebnis ankreuzt. Die Skala umfasst 20 Fragen, welche Aussagen über unterschiedliche Kategorien ermitteln sollen. In 4 Fragen wird auf die Schmerzsymptomatik eingegangen (Frage: 2 - 5), 11 Fragen bewerten die Funktion des Fußes und Sprunggelenks (Frage: 8-17, 19) und in 5 Fragen werden sonstige Parameter berücksichtigt, wie Kraft, Gefühl, Beschwiellung, Gangbild und ob orthopädische Schuhe getragen werden müssen (Frage: 1, 6, 7, 18, 20) (Stüber et al. 2011). Für die Auswertung der VAS FA wurde mit Hilfe einer zugehörigen Schablone die Markierung des Patienten in einen Zahlenwert zwischen 0 und 100 übertragen. Die Ergebnisse der einzelnen Fragen wurden den zugehörigen Kategorien zugeordnet und anschließend verrechnet.

Durch das eigenständige Ausfüllen des Fragebogens durch den Patienten konnte dieser sein subjektives Empfinden zum Erfolg oder Misserfolg der Therapie mit in die Beurteilung einfließen lassen. Der so ermittelte Wert kann als Maß für die Patientenzufriedenheit herangezogen werden (Ponkilainen et al. 2020).

2.5. Ablauf der Datenerhebung

Die Probanden wurden in einem Zeitraum von 10 - 14 Monaten nach der Operation eingeladen an der 1-Jahres Follow-Up-Untersuchung teilzunehmen. Die Erhebung der Daten erfolgte insgesamt durch drei Untersucher. Nach ausführlicher Information des Patienten und der begleitenden Erziehungsberechtigten über das Ziel und den Ablauf der Studie, sowie der Beantwortung von Rückfragen, wurde das Einverständnis des Patienten und mindestens eines Erziehungsberechtigten auf dem Aufklärungsbogen schriftlich festgehalten. Die Datenerhebung erfolgte identisch zu den präoperativen und 28-Tage-postoperativen Terminen, um eine Vergleichbarkeit der ermittelten Daten vorauszusetzen. Durchgeführt wurde sie in den Laboren der Firma Kaphingst® in Wehrda und bestand aus einer statischen und dynamischen Ganganalyse, einer statischen und dynamischen Pedobarografie, sowie im Anschluss aus der Erhebung des AOFAS-Scores und der VAS FA. Insgesamt nahm die vollständige Erhebung der Daten ungefähr 30 Minuten in Anspruch.

Zu Beginn der Messungen wurde der Patient gebeten, sich an der unteren Extremität bis auf die Unterwäsche zu entkleiden und barfuß auf das Laufband zu stellen. Für die Aufnahmen wurden beidseits der Ober- und Unterrand des Kalkaneus, sowie der Ansatz und Ursprung der Achillessehne mit Klebepunkten versehen. Weiterhin wurden mit Hilfe von einem Lineal die Mitte des Knies auf Höhe der Fossa poplitea und die Mitte des Oberschenkels auf Höhe der Glutealfalte bestimmt und ebenfalls mit Klebepunkten markiert. Die letzten beiden Punkte konnten später am Computer mittels exakter Lagemessung nochmals überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

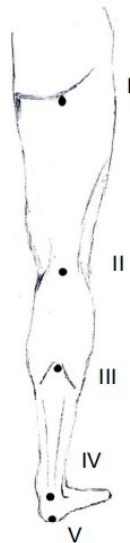


Abbildung 6: Position der Klebepunkte bei der Ganganalyse (I: Mitte der Glutealfalte, II: Mitte der Kniefalte, III: Übergang der Achillessehne in den M. gastrocnemius, IV: proximaler Kalkaneus, V: distaler Kalkaneus) (Hagen et al. 2019a)

Voraussetzung der zuerst ermittelten statischen Messung war die aufrechte, etwa schulterbreite Positionierung des Patienten in der Mitte des unbewegten Laufbands. Durch die streng von dorsal erfolgte Aufnahme ließ sich so eine hohe Reproduzierbarkeit erreichen, die Aufschluss über die Entwicklung des Fersenbodenwinkels (statisch), des Achillessehnenwinkels (statisch) und der Beinachse erbringen sollte.

Im Anschluss erfolgte die dynamische Messung der Ganganalyse. Dafür wurde das Laufband gestartet und die Geschwindigkeit soweit erhöht, bis der Patient eine für sich angenehme Gehgeschwindigkeit äußerte. Die erreichte Geschwindigkeit wurde notiert. Erwünscht war, dass der Patient dabei möglichst aufrecht, mit nach vorne gerichtetem Blick auf dem Laufband ging, ohne sich an den Haltegriffen festzuhalten. Die Aufnahme erfolgte parallel von lateral und dorsal über 10 Sekunden. Die Analyse der dynamischen Messungen ermöglichte die Bestimmung der Schrittlänge, des Achillessehnenwinkels

(dynamisch) und des Fersenbodenwinkels (dynamisch). Dafür wurde jeweils das Maximum des zu messenden Winkels in der mittleren Standphase über drei Schritte gemittelt.

In der darauffolgenden pedobarografischen Messung wurden ebenfalls statische und dynamische Aufnahmen durchgeführt. Bei der statischen Untersuchung stand der Patient barfuß, etwa schulterbreit und aufrecht mit nach vorne gerichtetem Blick auf der Druckplatte. Es wurden fünf Messungen von jeweils 10 Sekunden Dauer vorgenommen und deren Ergebnisse später in der Auswertung gemittelt. Um die dynamischen Aufnahmen zu ermitteln, wurde die Testperson gebeten in einer für sie angenehmen Geschwindigkeit über die Messplatte zu gehen, wobei bei Hin- und Rückweg der jeweils andere Fuß auf der Platte aufgesetzt werden sollte. Auch diese Aufnahmen wurden in dreifacher Ausführung aufgenommen und die Werte später in der Auswertung gemittelt. Die dabei entstandenen Daten geben Aufschluss über die Druckverteilung und das Abrollverhalten während des Gangzyklus.

Die Bestimmung des AOFAS-Scores erfolgte durch den Untersucher. Anamnestisch wurde der Patient dafür zunächst über Schmerzen, Funktion und Gehstrecke befragt. Klinisch wurden die Beweglichkeit der Gelenke, die Stabilität und die Achsstellungen des Fußes untersucht und auf pathologische Beschwielung geachtet. Die dabei ermittelten Ergebnisse für den Rückfuß, Mittelfuß, ersten Strahl und zweiten bis fünften Strahl wurden in dem Vordruck (siehe Anhang) eingetragen.

Zuletzt wurden dem Patienten die VAS FA erläutert und Rückfragen besprochen. Der Patient beantwortete die Fragen in Eigenarbeit. Da die VAS FA kein spezifischer Fragebogen für Kinder ist, wurde der Patient darauf hingewiesen, dass sich die Frage 10: „Wie stark schränken Fußprobleme Ihren Beruf ein?“ für ihn auf den Besuch der Schule bezieht und er die Frage 11: „Wie stark schränken Fußprobleme das Autofahren ein (Kupplung, Gas, Bremse)?“ nicht zu beantworten braucht. Diese Frage wurde später in der Bewertung herausgestrichen.

Die Datenerhebung endete mit einem abschließenden Gespräch mit dem Patienten und den Erziehungsberechtigten, in dem der bisherige Verlauf der Therapie, sowie eventuelle Fragen hinsichtlich des Krankheitsbildes, der Intervention und der Studie besprochen werden konnten.

2.6. Auswertung der Daten

Die Verwaltung der ermittelten Daten erfolgte über die Software Excel (Version 2010, Microsoft), sowie OpenOffice Calc (Apache OpenOffice 4.1.3) Für die statistische Auswertung wurde das frei verfügbare Statistikprogramm JASP (JASP Team (2018) JASP (Version 0.9.0.1) [Computer Software]) verwendet.

Die ermittelten Daten (post_1y) wurden jeweils mit den Daten der präoperativen (pre) und 28-Tage-postoperativen (post_28) Zeitpunkte verglichen. Um Unterschiede zwischen den Zeitpunkten auch in Bezug auf ihre Signifikanz erkennen zu können, wurden die Datenpunkte jeweils mittels ANOVA mit Messwertwiederholung verrechnet. Da es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine Pilotstudie handelt, wurde auf einen statistischen Korrekturfaktor des multiplen Testens verzichtet. Lediglich innerhalb der einzelnen Messzeitwiederholungen wurde nach Bonferroni korrigiert.

Die Ergebnisse für $p \leq 0,05$ wurden als statistisch signifikant, $p \leq 0,01$ als statistisch hoch signifikant und $p \leq 0,001$ als statistisch höchst signifikant angesehen.

Weiter wollten wir untersuchen, ob Korrelationen zwischen den verschiedenen Messmethoden bestehen. Dafür wurden zunächst die präoperativen Daten der Ganganalyse, der Pedobarografie, des AOFAS-Scores und der VAS FA miteinander verglichen und der jeweilige Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) berechnet. Für die Fragestellung, ob die Veränderungen der Daten Zusammenhänge aufweisen, verglichen wir jeweils die Differenzwerte zwischen den "pre" - und "post_1y" - Ergebnissen der Parameter. Ein Koeffizientenwert von $r < 0,3$ wurde als kleine Korrelation, $r > 0,3$ als mittlere Korrelation und $r > 0,5$ als starke Korrelation festgesetzt.

3. Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse gliedert sich im Folgenden in zwei Teile entsprechend der Zielsetzung dieser Studie. Dabei werden zunächst die einzelnen Ergebnisse der unterschiedlichen Messreihen dargestellt und auf ihre Signifikanz hin untersucht. Im zweiten Teil erfolgen die Korrelationsanalysen, in denen Zusammenhänge zwischen den Auswirkungen der Intervention auf die Fußstellung und den Ergebnissen der Fragebögen bzgl. Schmerzen und Funktion untersucht werden.

Die 14 Patienten unterteilen sich dabei geschlechtlich in 2 Mädchen (14,3%) und 12 Jungen (85,7%). Für einen Patienten war nur die Operation des linken Fußes indiziert, wodurch sich eine Fallzahl von n=27 Füßen ergibt.

3.1. Altersstatistik

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Operation lag bei 12,38 Jahren bei einem medianen Alter von 12,57 Jahren. Dabei betrug das mittlere Alter der Mädchen 12,86 Jahre und das der Jungen 12,29 Jahre. Der jüngste Studienteilnehmer wurde mit 9,25 Jahren, der älteste mit 14,28 Jahre operiert. Damit lag der jüngste Patient leicht außerhalb des angestrebten Zielrahmens, war aber aufgrund seiner Klinik (Schmerzen bei Belastung des Fußes, pathologische Beschwiellung, sowie offene Epiphysenfugen auf den radiologischen Aufnahmen) für die Operation und Teilnahme an der Studie indiziert.

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt des 1-Jahres Follow-Up betrug 13,37 Jahre. Die früheste Jahreskontrolluntersuchung fand nach 0,88 Jahren, die späteste nach 1,17 Jahren statt, womit alle Probanden innerhalb des gesetzten Zeitraums von 10 - 14 Monaten nach der Operation untersucht werden konnten. Der mittlere Abstand zwischen Operation und 1-Jahres Follow-Up betrug 1,00 Jahre.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik zur Altersverteilung

	Alter bei OP			Alter bei post_1y			Follow-Up Zeit		
	Gesamt	f	m	Gesamt	f	m	Gesamt	f	m
Mean	12,38	12,86	12,29	13,37	13,93	13,28	1,00	1,08	0,99
Median	12,58	12,86	12,58	13,57	13,93	13,57	0,99	1,08	0,99
SD	1,40	0,68	1,50	1,42	0,81	1,50	0,09	0,13	0,08
Minimum	9,25	12,38	9,25	10,18	13,36	10,18	0,88	0,99	0,88
Maximum	14,28	13,34	14,28	15,27	14,51	15,27	1,17	1,17	1,17

3.2. Ganganalyse

Bei den Messungen der Ganganalyse wurden in den statischen Aufnahmen der Fersenbodenwinkel, der Achillessehnenwinkel und die Beinachse vermessen. Dabei kam es bei einer Probandin zu einem Fehler in der Datenverarbeitung der post_28 Messung, weshalb für diesen Teil der Auswertung nur von 13 Probanden (n=25 FüÙe) Daten für die Auswertung zur Verfügung standen. Da jedoch alle weiteren Messungen zu den jeweiligen Zeitpunkten bei dem Mädchen erfolgreich durchgeführt werden konnten, wurde von einem Ausschluss der Probandin aus der Studie abgesehen. Es soll hiermit jedoch der Vollständigkeit halber auf die entstandene Lücke im Datensatz der post_28 Messung hingewiesen werden.

Aus den dynamischen Aufnahmen wurde erneut der Fersenbodenwinkel und der Achillessehnenwinkel ermittelt, sowie die Ganggeschwindigkeit und die Schrittlänge anhand der lateralen Aufnahmen.

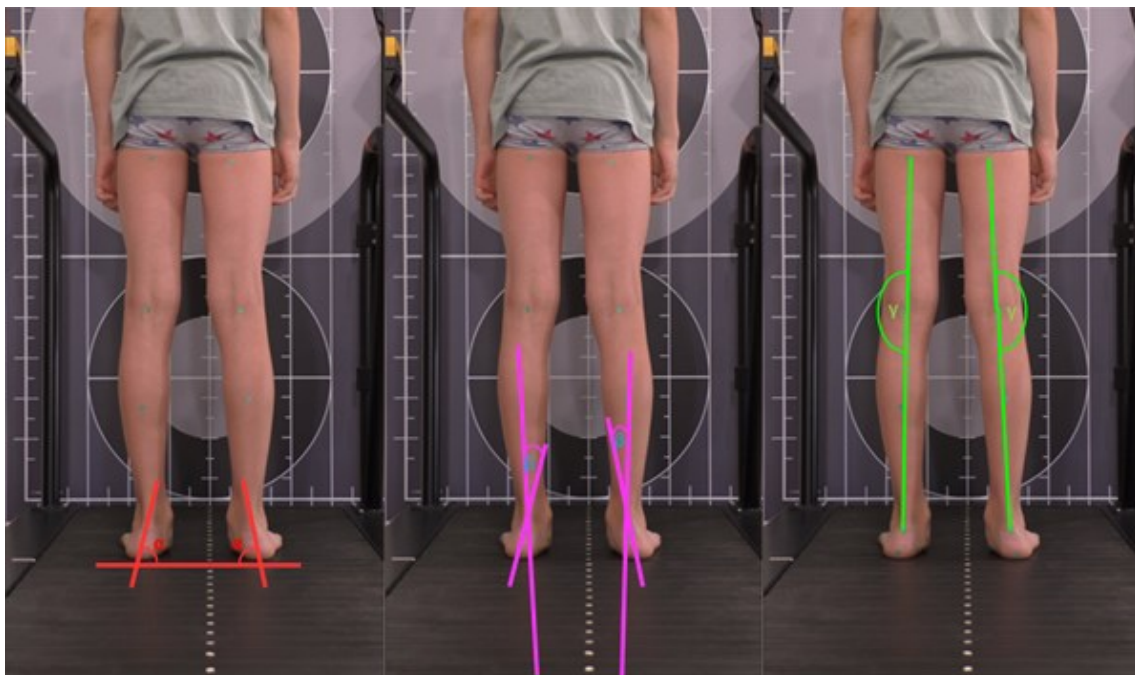


Abbildung 7: Winkel der ganganalytischen Messreihe (Fersenbodenwinkel = $90^\circ - \alpha$, Achillessehnenwinkel = β , Beinachse = $180^\circ - \gamma$)

Präoperativ zeigte sich bei fast allen Patienten eine deutliche Valgusstellung der betroffenen FüÙe, die sich sowohl in den statischen als auch in den dynamischen Aufnahmen als übermäßige Fersenboden- und Achillessehnenwinkel darstellten. Die Ergebnisse an post_28 sowie an post_1y konnten im Verlauf eine Reduktion der Valgusstellung des Rückfußes für beide Winkel nachweisen (siehe Tabelle 2). Diese zeigte sich dabei in den statischen Messungen etwas ausgeprägter als in den

dynamischen Messungen. Die Ergebnisse nach einem Jahr beschrieben meist wieder eine leichte, nicht signifikante Erhöhung der Winkel in Richtung der Valgusstellung im Vergleich zu den post_28 Ergebnissen.

Wie in Tabelle 2 ersichtlich ergaben sich dabei für den Fersenbodenwinkel in den statischen Messungen eine höchst signifikante Verringerung des Winkels auf 2,68° nach einem Jahr im Vergleich zu 10,04° präoperativ [$F_{(1.595,38.277)}=95,55$; $p<0,001$]. Dies spiegelte sich auch in den dynamischen Messungen wider [$F_{(1.678,43.622)}=79,29$; $p<0,001$] (siehe Tabelle 2 und Abbildungen 9 und 10). Der Achillessehnenwinkel zeigte ebenfalls sowohl statisch mit einer Reduktion von 12,49° auf 4,45° [$F_{(1.577,37.849)}=96,01$; $p<0,001$], als auch dynamisch mit einer Reduktion von 12,65° auf 6,07° [$F_{(1.794,46.633)}=93,72$; $p<0,001$] einen signifikanten Rückgang der Valgusstellung des Rückfußes (siehe Tabelle 2 und Abbildungen 9 und 10). Dabei wurden in den statischen Messungen keine signifikanten Veränderungen der Jahresergebnisse zu den Ergebnissen der post_28 Messung ($p=1,00$ für den Fersenbodenwinkel, $p=0,78$ für den Achillessehnenwinkel) bei vergleichbaren Realwerten nachgewiesen. Lediglich bei den dynamischen Aufnahmen des Achillessehnenwinkels zeigte sich ein leichter Korrekturverlust im signifikanten Bereich im Vergleich zur post_28 Messung ($p=0,048$).

Die Beinachse konnte keine signifikanten Veränderungen über die Untersuchungszeitpunkte nachweisen und blieb im Durchschnitt bei einer leichten Valgusstellung. Ebenfalls konnten keine signifikanten Veränderungen bei der Schrittlänge und der Schrittgeschwindigkeit festgestellt werden.

Tabelle 2: Deskriptive Statistik zur Ganganalyse

			pre	post_28	post_1y
Fersenbodenwinkel (°)	statisch	Mean	10,04	3,00	2,68
		SD	3,49	3,51	2,40
	dynamisch	Mean	7,94	0,74	1,22
		SD	3,15	3,12	2,15
Achillessehnenwinkel (°)	statisch	Mean	12,49	3,63	4,45
		SD	2,74	3,29	2,81
	dynamisch	Mean	12,65	4,58	6,07
		SD	2,56	3,03	2,30
Beinachse (°)	Mean	-1,97	-1,72	-1,41	
	SD	1,86	1,94	1,95	
Geschwindigkeit (km/h)	Mean	2,17	1,86	2,37	
	SD	0,39	0,65	0,44	
Schrittlänge (cm)	Mean	71,42	66,86	81,44	
	SD	13,90	17,48	14,67	

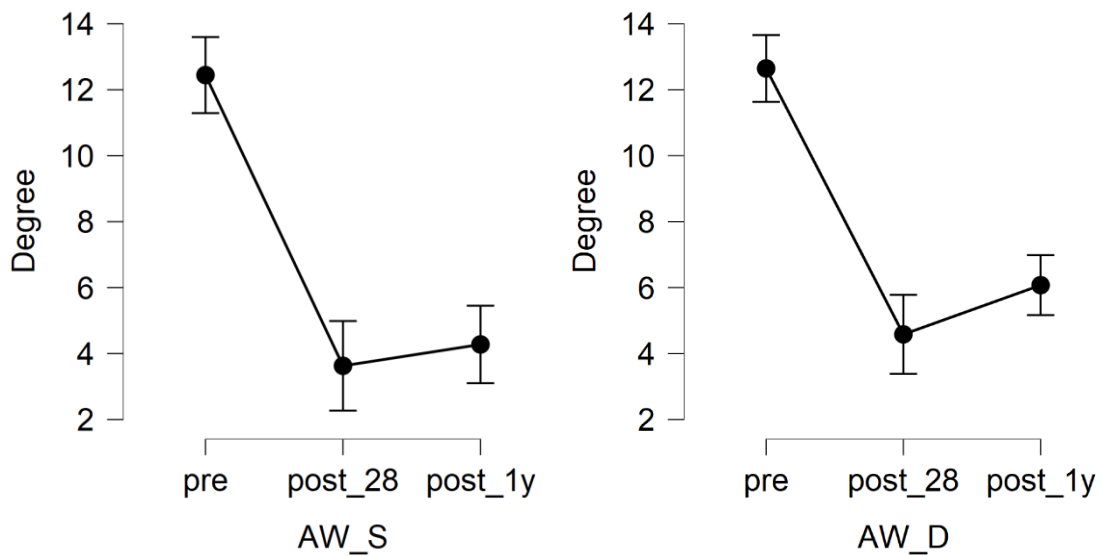


Abbildung 8: Auswertung der statischen und dynamischen Analyse des Achillessehnenwinkels

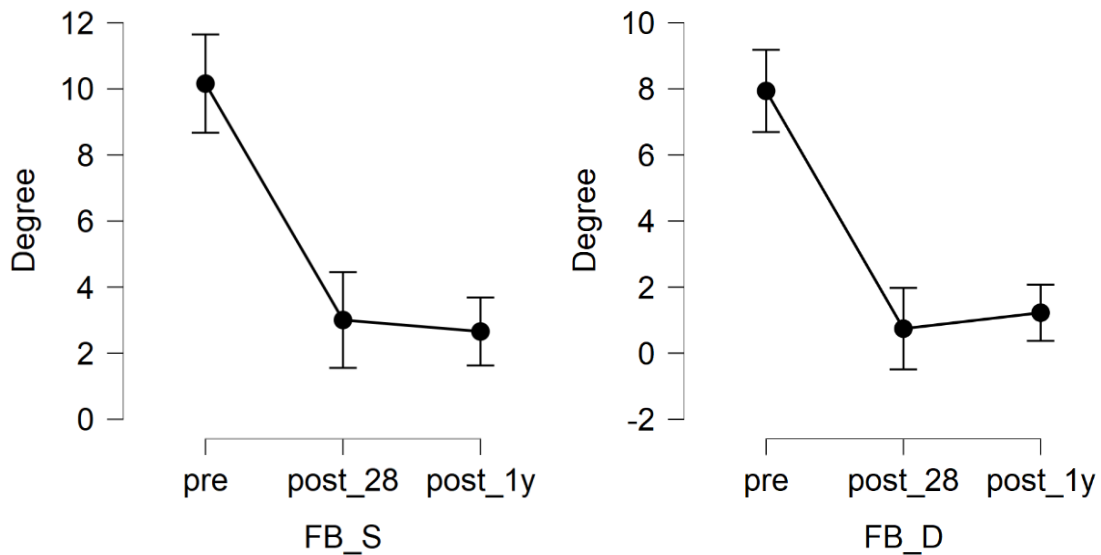


Abbildung 9: Auswertung der statischen und dynamischen Analyse des Fersenbodenwinkels

3.3. Pedobarografie

Zur Auswertung der pedobarografischen Messungen wurden jeweils die prozentualen Anteile der durch die Sensoren ermittelten Druckwerte für die definierten Abschnitte (siehe Abbildung 10) herangezogen. Zunächst beurteilten wir dabei die laterale und mediale Druckverteilung über dem Gesamtfuß, sowie im Verlauf separat für Vor-, Mittel- und Rückfuß. Eine Analyse der prozentualen Verhältnisse erwies sich als überschaubarer und besser beurteilbar als eine Analyse der Realwerte.

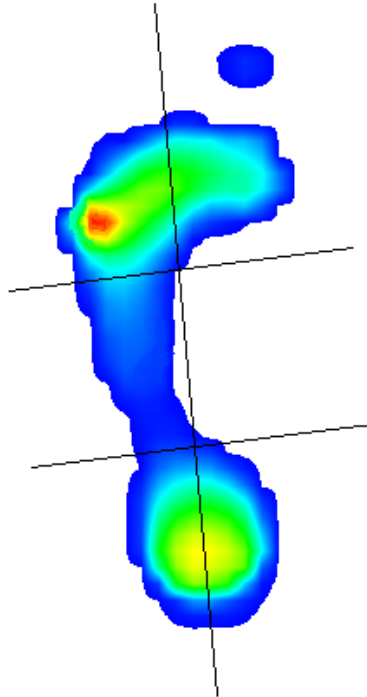


Abbildung 10: Unterteilungsmuster des Fußes bei der Pedobarografie in 6 Kompartimente

Dabei zeigte sich präoperativ eine prozentuale Belastung der medialen Fußhälfte von ca. 55% des Gesamtdrucks in der statischen und 49% des Gesamtdrucks in der dynamischen Aufnahme (siehe Tabelle 3 und Abbildung 11). Für die einzelnen Unterbereiche konnten unterschiedlich starke prozentuale Belastungen der medialen Fußhälfte gemessen werden, wobei diese in den statischen Messungen z.T. deutlicher ausgeprägt waren als in den dynamischen Messungen. Insbesondere im Bereich des Mittelfußes war dabei in der statischen präoperativen Aufnahme eine mediale Belastung von 42% gemessen worden, wohingegen die dynamische Aufnahme lediglich eine mediale Belastung von 27% aufwies (siehe Tabelle 3 und Abbildung 12).

Die Verlaufswerte für den Gesamtfuß ergaben in den statischen [$F_{(1.697,44.119)}=49,19$; $p<0,001$] und dynamischen [$F_{(1.914,49.755)}=24,39$; $p<0,001$] Messungen höchst signifikante Mehrbelastungen der lateralen Fußhälfte nach einem Jahr im Vergleich zu den Ausgangswerten. Bei genauerer Betrachtung des Mittelfußbereichs, der die Ausprägung des Längsgewölbes am entscheidendsten widerspiegelt, konnten deutliche Druckverschiebungen nach lateral nachgewiesen werden. Diese lagen sowohl in den statischen Aufnahmen mit einer Vergrößerung von 58,45% präoperativ auf 84,28% an post_1y [$F_{(1.335,34.717)}=32,61$; $p<0,001$], als auch in den dynamischen Aufnahmen mit einer Vergrößerung von 73,05% präoperativ auf 91,92% an post_1y [$F_{(1.214,31.561)}=30,55$;

p<0,001] im höchst signifikanten Bereich (siehe Tabelle 3 und Abbildung 12). In geringerem Ausmaß konnte bei den statischen Aufnahmen auch im Vorfußbereich eine signifikante Druckumverteilung gemessen werden, der Rückfußbereich zeigte in der Pedobarografie kaum eine Beeinflussung durch die Arthrorise (siehe Tabelle 3). Insgesamt waren die Druckveränderungen in den dynamischen Messungen jedoch geringer ausgeprägt als in den statischen Messungen, wobei auch in den präoperativen Daten bereits eine weniger ausgeprägte Fehlbelastung der medialen Fußhälfte vorlag.

Im Vergleich zu den post_28 Ergebnissen zeigte sich bei den Jahresergebnissen in beiden Messreihen wieder eine signifikante Mehrbelastung der medialen Fußhälfte im Sinne eines geringen Korrekturverlustes. Diese lag jedoch lediglich im Gesamt-, Vor- und Rückfußbereich, nicht aber im Mittelfußbereich vor. Hier zeigte sich zwar ebenfalls eine leichte Mehrbelastung des medialen Fußes, die aber unterhalb des Signifikanzniveaus lag (siehe Tabelle 3 und Abbildungen 12 und 13).

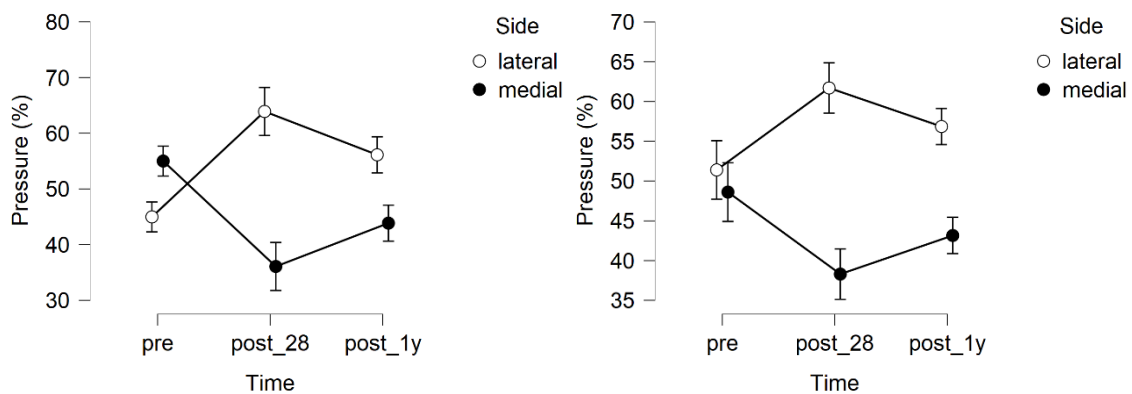


Abbildung 11: Druckverteilung in Prozent für den Gesamtfuß in der statischen (li.) und dynamischen (re.) Pedobarografie

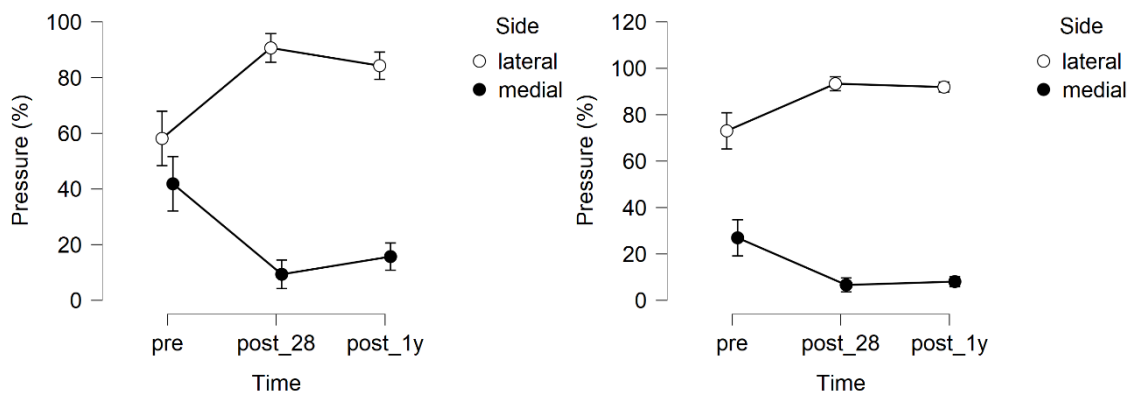


Abbildung 12: Druckverteilung in Prozent für den Mittelfuß in der statischen (li.) und dynamischen (re.) Pedobarografie

Tabelle 3: Druckverteilung in Prozent des Gesamtfußes und der einzelnen Fußbereiche der statischen und dynamischen Pedobarografie

Druck (%)				pre	post_28	post_1y
Gesamtfuß	statisch	lateral	Mean	44,99	63,92	56,13
			SD	6,79	10,90	8,19
		medial	Mean	55,01	36,08	43,87
			SD	6,79	10,90	8,19
	dynamisch	lateral	Mean	51,39	61,70	56,85
			SD	9,29	8,01	5,75
		medial	Mean	48,61	38,30	43,15
			SD	9,29	8,01	5,75
Vorfuß	statisch	lateral	Mean	40,22	61,03	51,78
			SD	6,69	13,38	7,60
		medial	Mean	59,78	38,97	48,22
			SD	6,69	13,38	7,60
	dynamisch	lateral	Mean	50,20	59,64	52,16
			SD	10,75	12,45	5,98
		medial	Mean	49,80	40,36	47,84
			SD	10,75	12,45	5,98
Mittelfuß	statisch	lateral	Mean	58,45	90,65	84,28
			SD	25,13	12,98	12,36
		medial	Mean	41,55	9,35	15,72
			SD	25,13	12,98	12,36
	dynamisch	lateral	Mean	73,05	93,37	91,92
			SD	19,68	7,59	5,40
		medial	Mean	26,95	6,63	8,08
			SD	19,68	7,59	5,40
Rückfuß	statisch	lateral	Mean	44,30	52,05	46,93
			SD	7,33	8,83	7,85
		medial	Mean	55,70	47,95	53,07
			SD	7,33	8,83	7,85
	dynamisch	lateral	Mean	47,61	50,59	49,68
			SD	6,90	6,89	4,00
		medial	Mean	52,39	49,41	50,32
			SD	6,90	6,89	4,00

3.4. AOFAS

Bei der Auswertung des AOFAS-Scores wurde besonderer Wert auf die Betrachtung des Rück- und Mittelfußes gelegt. Hier lagen zu Beginn die deutlichsten Einschränkungen der präoperativen Analyse vor, weshalb wir in diesem Bereich des Fußes die größten Auswirkungen der Arthrorise erwarteten. Zudem spiegeln sie die Bereiche des Rückfußvalgus und fehlenden Längsgewölbes am ehesten wider.

Insgesamt kam es zu einer höchst signifikanten Steigerung des durchschnittlichen Scores des Rückfußes von 67,38 Punkten präoperativ auf 95,46 Punkte nach einem Jahr [$F_{(1,110,13,317)}=15,78$; $p<0,001$] (siehe Tabelle 4 und Abbildung 14). Die Ergebnisse des Mittelfußes zeigten ebenfalls eine höchst signifikante Steigerung der Ergebnisse mit einem Score von 62,69 Punkten präoperativ auf 98,08 Punkte nach einem Jahr [$F_{(1,312,15,744)}=18,01$; $p<0,001$] (siehe Tabelle 4 und Abbildung 14). Dabei konnten in beiden Bereichen sogar noch hoch signifikante Veränderungen nach einem Jahr im Vergleich zu den post_28 Ergebnissen gemessen werden (siehe Tabelle 4 und Abbildung 14).

Tabelle 4: Deskriptive Statistik zum AOFAS-Score

Score		pre	post_28	post_1y
Rückfuß	Mean	67,38	89,31	95,46
	SD	17,90	8,51	5,55
Mittelfuß	Mean	62,69	87,85	98,08
	SD	23,14	12,30	4,80
1. Strahl	Mean	89,77	97,00	100,00
	SD	9,13	5,83	0,00
2.- 4. Strahl	Mean	88,46	96,54	100,00
	SD	14,06	6,62	0,00

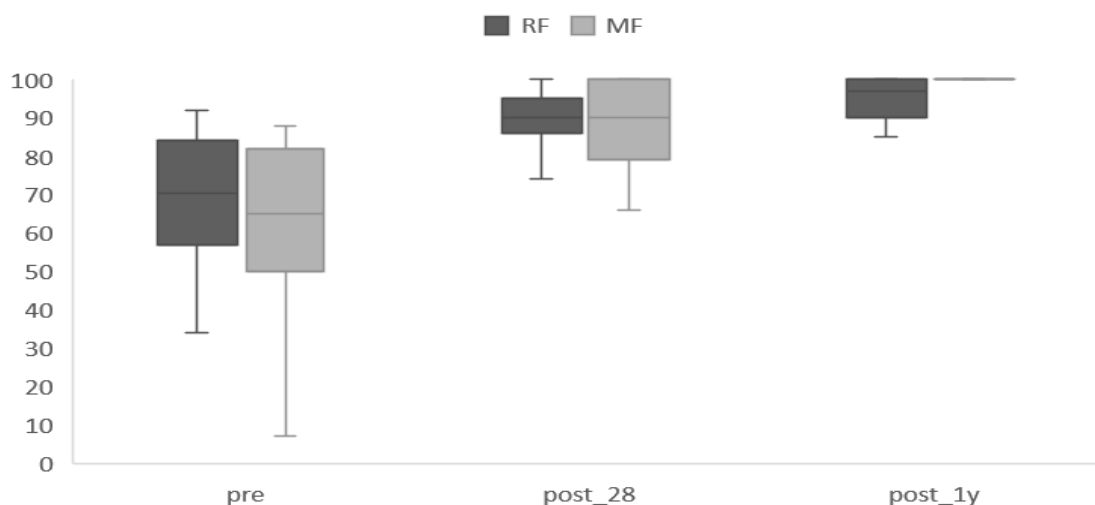


Abbildung 13: Boxplot zu den Ergebnissen des Rück- und Mittelfußes des AOFAS-Scores der unterschiedlichen Messzeitpunkte

3.5. VAS FA

Bei der Analyse der visuellen Analogskala zeigte sich in der „Total“-Auswertung eine hoch signifikante Veränderung der Ergebnisse von präoperativ 64,90 Punkten auf 86,38 Punkte nach einem Jahr [$F_{(1.651,19.808)}=6,09$; $p=0,006$] (siehe Tabelle 5 und Abbildung 14).

Dabei konnten innerhalb der einzelnen Gruppierungen ebenfalls signifikant höhere Punktzahlen in den Bereichen Funktion [$F_{(1.753,21.037)}=6,833$; $p=0,007$] und Schmerz [$F_{(1.635,19.619)}=2,61$; $p<0,048$] erreicht werden (siehe Tabelle 5 und Abbildung 14).

Zum Zeitpunkt der post_28 Messungen lag noch in keiner der Gruppen eine signifikante Veränderung im Vergleich zu den Ausgangswerten vor. Die Ergebnisse nach einem Jahr konnten in allen Bereichen aber weitere Zunahmen der Punktzahlen im Vergleich zu den post_28 Messungen erreichen. Für den Unterpunkt „Funktion“ lag diese dabei im signifikanten Bereich [$F_{(1.753,21.037)}=6,833$; $p=0,049$] (siehe Tabelle 5 und Abbildung 14).

Tabelle 5: Deskriptive Statistik zur VAS FA

Score		pre	post_28	post_1y
Schmerz	Mean	64,90	76,00	86,38
	SD	30,59	22,28	12,61
Funktion	Mean	77,63	75,44	93,93
	SD	14,87	18,56	6,50
Sonstige	Mean	75,37	83,74	95,12
	SD	16,52	17,66	5,10
Total	Mean	74,40	77,57	92,66
	SD	16,55	17,54	6,58

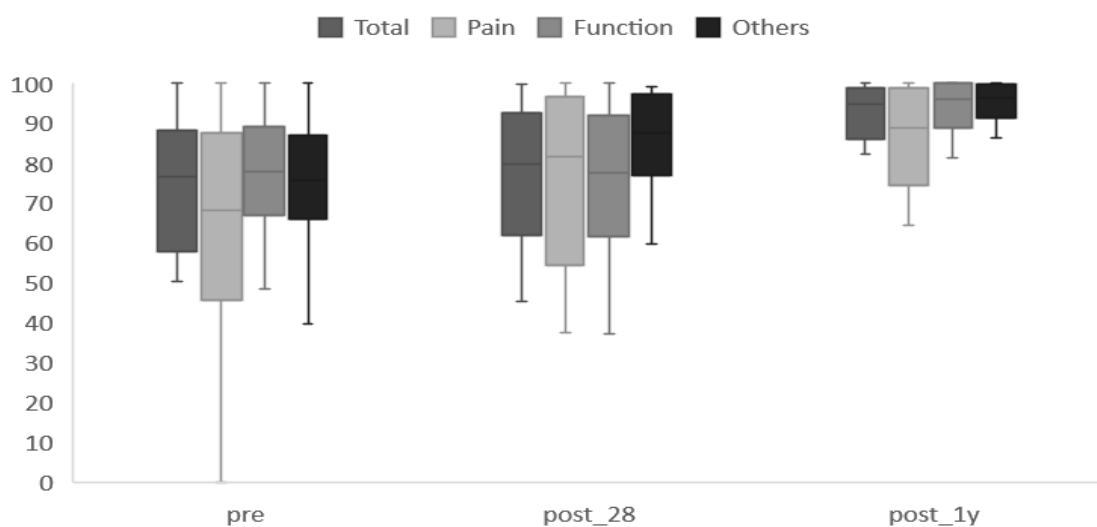


Abbildung 14: Boxplot zu den Ergebnissen der Unterkategorien der VAS FA der unterschiedlichen Messzeitpunkte

3.6. Korrelationsanalysen

Um einen Zusammenhang zwischen dem gemessenen Ausmaß der Fehlstellung und den Schmerzen bzw. dem Funktionsverlust der Patienten darzustellen, verglichen wir zunächst die Daten der präoperativen Messreihen miteinander. Im Anschluss untersuchten wir, ob ein reduzierter Rückfußvalgus mit vermehrter Belastung des Außenfußes auch im Zusammenhang mit einer Verbesserung der Funktion und Reduzierung der Schmerzen steht. Dazu verglichen wir jeweils die zeitlichen Veränderungen der ganganalytischen und pedobarografischen Parameter mit den Veränderungen der Ergebnisse der Fragebögen.

3.6.1. Korrelationsanalyse der präoperativen Messreihe

Ziel dieser Berechnungen war es herauszustellen, ob sich ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Fehlstellung und Funktionseinschränkung und dem Ausmaß der Beschwerden darstellt. Zum einen zeigten sich dabei Zusammenhänge zwischen den Daten derselben Messmethoden, aber auch in den Vergleichen der verschiedenen Messmethoden miteinander. Zum anderen konnten wir eine deutliche Korrelation zwischen der Ausprägung des Achillessehnenwinkels und der Ausprägung des Fersenbodenwinkels zueinander nachweisen. Hierbei korrelierte sowohl die Ausprägung des statischen Achillessehnenwinkels mit der des statischen Fersenbodenwinkels (Pearson Koeffizient: $r = 0,647$; $p < 0,001$), als auch die Ausprägung des dynamischen Achillessehnenwinkels mit der des dynamischen Fersenbodenwinkels ($r = 0,640$; $p < 0,001$) in höchstem Maße (siehe Tabelle 6). Die pedobarografischen Aufnahmen für den Gesamtfuß ergaben ebenfalls Korrelationen zwischen den statischen und dynamischen Messungen ($r = 0,524$; $P = 0,005$). Die Unterbereiche zeigten lediglich Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Ergebnissen des Gesamtfußes, aber keine weiteren Korrelationen untereinander. Auch für die visuelle Analogskala konnten höchst signifikante Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Untergruppen zueinander nachgewiesen werden. Die präoperativen Ergebnisse für den AOFAS-Score ergaben ebenfalls signifikante Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen des Rückfußes und Mittelfußes ($r = 0,418$; $p = 0,030$) (siehe Tabelle 6).

Zwischen den verschiedenen Messmethoden zeigte sich in den präoperativen Aufnahmen, dass die Ausprägung des Rückfußvalgus in den dynamischen Messungen in signifikanter Weise mit dem Schmerzscore der visuellen Analogskala korreliert (siehe Tabelle 6). Hierbei erreichte der Vergleich der präoperativen dynamischen Messung des Fersenbodenwinkels mit dem präoperativen Total-Wert der VAS einen Pearson-Koeffizienten von $0,414$ ($p = 0,032$), sowie für die Unterkategorie „Schmerz“ einen Koeffizienten von $0,562$ ($p = 0,002$). Ein Zusammenhang zwischen der präoperativen

Ganganalyse und den Ergebnissen des AOFAS-Scores ließ sich nicht darstellen. Ebenso konnten wir keine Korrelationen zwischen der präoperativen Druckverteilung in der Pedobarografie und den präoperativen Ergebnissen der Fragebögen darstellen. Die Ergebnisse der visuellen Analogskala und des AOFAS-Scores korrelierten in allen Unterkategorien in unterschiedlicher Stärke signifikant zueinander (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Korrelationsanalyse der präoperativen Ausgangswerte der relevantesten Parameter (*= signifikant; **= hoch signifikant; *= höchst signifikant)**

pre		FB_S	AW_S	FB_D	AW_D	Pedo_S	Pedo_D	Schmerz	Funktion	Total	RF
FB_S	Pearson r	-									
	p-Wert	-									
AW_S	Pearson r	0,647***	-								
	p-Wert	< 0,001	-								
FB_D	Pearson r	0,666**	0,274	-							
	p-Wert	< 0,001	0,167	-							
AW_D	Pearson r	0,419	0,279	0,640***	-						
	p-Wert	0,029	0,159	< 0,001	-						
Pedo_S	Pearson r	-0,057	-0,212	0,023	-0,097	-					
	p-Wert	0,778	0,289	0,911	0,629	-					
Pedo_D	Pearson r	-0,252	-0,326	-0,105	-0,243	0,524*	-				
	p-Wert	0,204	0,097	0,603	0,223	0,005	-				
Schmerz	Pearson r	0,18	-0,098	0,562**	0,447*	0,046	0,138	-			
	p-Wert	0,369	0,628	0,002	0,019	0,82	0,492	-			
Funktion	Pearson r	-0,16	-0,217	0,322	0,289	0,249	0,418*	0,694***	-		
	p-Wert	0,425	0,278	0,101	0,144	0,211	0,03	< 0,001	-		
Total	Pearson r	-0,063	-0,168	0,414*	0,38	0,174	0,309	0,826***	0,971***	-	
	p-Wert	0,754	0,403	0,032	0,051	0,386	0,117	< 0,001	< 0,001	-	
RF	Pearson r	-0,16	-0,358	0,191	0,301	0,164	-0,125	0,539**	0,421*	0,509**	-
	p-Wert	0,427	0,067	0,341	0,127	0,413	0,534	0,004	0,029	0,007	-
MF	Pearson r	0,285	0,064	0,606***	0,283	-0,033	-0,188	0,768***	0,549**	0,670***	0,418*
	p-Wert	0,150	0,751	< 0,001	0,152	0,869	0,347	< 0,001	0,003	< 0,001	0,030

3.6.2. Korrelationsanalyse der zeitlichen Differenzen als Folge der Arthrorise

Zu Beginn analysierten wir die Differenzwerte der präoperativen und ein Jahr postoperativen Ergebnisse innerhalb der Messreihen auf Zusammenhänge der Parameter.

Für die Ganganalyse konnte dabei ein höchst signifikanter Zusammenhang zwischen den Veränderungen von Achillessehnenwinkel und Fersenbodenwinkel bei den statischen Messreihen nachgewiesen werden (Pearson $r=0,613$; $p<0,001$), die sich sogar noch ausgeprägter in der dynamischen Messreihe widerspiegelte (Pearson $r=0,807$; $p<0,001$) (siehe Tabelle 7). Ebenfalls zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Veränderungen der statischen und den Veränderungen der dynamischen Ergebnisse des Fersenbodenwinkels (Pearson $r=0,512$; $p=0,006$). Die Pedobarografie erreichte eine signifikante Korrelation zwischen den statischen und dynamischen Messungen für die Druckverschiebung über dem Gesamtfuß (Pearson $r=0,424$; $p=0,028$) (siehe Tabelle 7). Die visuelle Analogskala konnte durchgehend hoch signifikante Zusammenhänge zwischen den Unterkategorien aufweisen. Ebenso zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Veränderungen der Ergebnisse des Rück- und Mittelfußes im AOFAS-Score (siehe Tabelle 7).

Im Anschluss verglichen wir zunächst die beiden Fragebögen miteinander, wobei sich deutliche Korrelationen aller Unterparameter zueinander ergaben. So ermittelten wir beim Vergleich der Veränderung der Gesamtpunktzahlen der VAS mit den Veränderungen des AOFAS-Scores für den Rück- und den Mittelfuß höchst signifikante Korrelationen (Rückfuß: $r=0,932$; $p<0,001$ und Mittelfuß $r=0,643$; $p<0,001$) (siehe Tabelle 7). Die Unterkategorien der VAS konnten ebenfalls signifikante Zusammenhänge zu den Veränderungen des AOFAS-Scores nachweisen (siehe Tabelle 7).

Beim Vergleich der Ganganalyse mit der Pedobarografie konnte kein deutlicher Zusammenhang herausgestellt werden. Hier ergaben die Berechnungen lediglich eine Korrelation von hoher Signifikanz zwischen der statischen Pedobarografie des Gesamtfußes und der statischen Analyse des Achillessehnenwinkels (Pearson: $r=-0,503$, $p=0,008$), die sich vor allem auf die Veränderungen des Vorfußes (Pearson: $r=-0,611$, $p<0,001$) zurückführen lassen (siehe Tabelle 7).

Zuletzt erfolgte die Korrelationsanalyse der zeitlichen Differenzen der Ganganalyse mit den zeitlichen Differenzen der Fragebögen. Dabei verglichen wir zunächst die

Veränderungen der statischen und dynamischen Winkel mit den Entwicklungen des AOFAS-Scores und anschließend mit denen der visuellen Analogskala.

Dabei zeigten sich starke Korrelationen zwischen den Veränderungen der dynamischen Ganganalyse und den Ergebnissen der Fragebögen. Genauer ergaben sich hoch signifikante Korrelationen mit einem Pearson-Koeffizienten von $r=0,581$ ($p=0,001$) bei dem Vergleich der Totalwerte der VAS FA mit dem Fersenbodenwinkel, sowie von $r=0,515$ ($p=0,006$) mit dem Achillessehnenwinkel. Diese spiegelten sich auch in signifikantem Ausmaß in den Unterkategorien der visuellen Analogskala wider (siehe Tabelle 7).

Ebenfalls konnten etwas weniger starke aber signifikante Korrelationen der dynamischen Ganganalyse mit den Entwicklungen der AOFAS-Scores des Rück- und Mittelfußes festgestellt werden. Hierbei wiesen die Veränderungen des Fersenbodenwinkels die deutlicheren Zusammenhänge auf ($r=0,499$; $p=0,008$ für den Vergleich mit der Entwicklung des AOFAS-Scores des Rückfußes und $r=0,546$; $p=0,003$ für die Mittelfußentwicklung) (siehe Tabelle 7). Für die Veränderungen der statischen Ganganalyse konnten keine signifikanten Zusammenhänge zu den Veränderungen der VAS oder des AOFAS-Scores nachgewiesen werden (siehe Tabelle 7).

Die pedobarografischen Veränderungen über dem Gesamtfuß ergaben in der dynamischen Messreihe signifikante Zusammenhänge zu den Veränderungen des AOFAS-Scores des Rückfußes (Pearson $r=-0,420$; $p=0,029$) (siehe Tabelle 7), die sich in den Unterteilungen am deutlichsten im Vor- und Mittelfußbereich widerspiegelten. Zusammenhänge zu den Veränderungen der Ergebnisse des Mittelfußes ließen sich nicht nachweisen. Ebenfalls konnten keine Korrelationen zu den Veränderungen der VAS gezeigt werden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Korrelationsanalyse der zeitlichen Differenz der relevantesten Parameter (*= signifikant; **= hoch signifikant; *= höchst signifikant)**

		FB_S	AW_S	FB_D	AW_D	Pedo_S	Pedo_D	Total	Schmerz	Funktion	RF
FB_S	Pearson r	-									
	p-Wert	-									
AW_S	Pearson r	0,613***	-								
	p-Wert	< 0,001	-								
FB_D	Pearson r	0,512**	0,225	-							
	p-Wert	0,006	0,259	-							
AW_D	Pearson r	0,334	0,238	0,807***	-						
	p-Wert	0,088	0,232	< 0,001	-						
Pedo_S	Pearson r	-0,318	-0,503**	-0,076	-0,052	-					
	p-Wert	0,106	0,008	0,705	0,796	-					
Pedo_D	Pearson r	-0,251	-0,162	-0,102	-0,24	0,424*	-				
	p-Wert	0,206	0,42	0,613	0,227	0,028	-				
Total	Pearson r	-0,012	-0,343	0,581**	0,515**	0,089	0,028	-			
	p-Wert	0,954	0,08	0,001	0,006	0,659	0,888	-			
Schmerz	Pearson r	0,177	-0,202	0,703***	0,552**	0,06	-0,008	0,861***	-		
	p-Wert	0,376	0,313	< 0,001	0,003	0,764	0,969	< 0,001	-		
Funktion	Pearson r	-0,104	-0,36	0,516**	0,514**	0,152	0,125	0,973***	0,772***	-	
	p-Wert	0,606	0,065	0,006	0,006	0,448	0,535	< 0,001	< 0,001	-	
RF	Pearson r	0,118	-0,193	0,499**	0,441*	-0,208	-0,420*	0,632***	0,610***	0,585**	-
	p-Wert	0,558	0,334	0,008	0,021	0,297	0,029	< 0,001	< 0,001	0,001	-
MF	Pearson r	0,260	-0,191	0,546**	0,343	0,076	-0,181	0,643***	0,524**	0,645***	0,424*
	p-Wert	0,190	0,339	0,003	0,080	0,707	0,368	< 0,001	0,005	< 0,001	0,027

4. Diskussion

4.1. Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Mit unserer Pilotstudie evaluierten wir in einem prospektiven Setting das Outcome der Schraubenarthrorise nach De Pellegrin mittels funktioneller Analyse in Verbindung mit dem subjektiven Ergebnis der operierten Kinder (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b). Im Rahmen des Forschungsprojekts untersuchten wir 14 Patienten im Alter von 9 bis 14 Jahren zu fünf unterschiedlichen Zeitpunkten: vor der Operation, postoperativ nach 3, 14 und 28 Tagen, sowie im Verlauf nach einem Jahr. Für diese Studie wurden dabei die Zeitpunkte pre, post_28 und post_1y zur genaueren Analyse herangezogen. Hierfür untersuchten wir das Gangbild der Patienten mittels Ganganalyse und pedobarografischer Druckmessung, sowie die Fußfunktion und die Schmerzen der Patienten mit Hilfe des AOFAS-Scores und der VAS Fuß und Sprunggelenk. Dabei zeigten sich nach einem Jahr eine deutliche Reduktion der Valgusstellung des Rückfußes, ein Aufrichten des Längsgewölbes, eine Verbesserung der Funktion des Fußes, sowie eine deutliche Schmerzreduktion der Patienten.

Schon präoperativ ließ sich ein Zusammenhang zwischen dem gemessenen Ausmaß der Fehlstellung in der Ganganalyse und den Beschwerden der Patienten nachweisen. Die stärksten Korrelationen der zeitlichen Differenzen der Fragebögen und der ganganalytischen Messungen konnten zwischen den dynamischen Messungen der Ganganalyse und den Ergebnissen der VAS und des AOFAS-Scores erreicht werden. Die Pedobarografie zeigte weiterhin eine deutliche Umverteilung der Belastung der Füße, wobei diese Ergebnisse nicht in dem Maße mit den Daten der Fragebögen korrelierten.

Im Vergleich zu den post_28 Ergebnissen konnte beim 1-Jahres Follow-Up zum Teil ein geringer Korrekturverlust der ganganalytischen Parameter beschrieben werden. Die Fragebögen zeigten demgegenüber tendenziell jedoch eher eine leichte Verbesserung der Fußfunktion und Schmerzsymptomatik.

4.2. Diskussion der Methoden

Die hier durchgeführte postoperative funktionelle Nachuntersuchung wurde so bisher noch nicht in einer vergleichbaren Untersuchung zur Beurteilung des Therapieerfolgs einer Schraubenarthrorise als klinisch prospektive Studie in der aktuellen Literatur beschrieben.

Eine Einteilung entsprechend der Viladot-Klassifikation (Viladot 1954) (siehe 1.3) erwies sich für uns als nicht praktikabel, da einige der Patienten zu Beginn der Studie eine so ausgeprägte Knickfußkomponente aufwiesen, dass die laterale Fußhälfte sich leicht anhob (Hagen et al. 2019b). Der vorliegende Fußabdruck entsprach dabei keiner der Unterteilungen nach Viladot. Die Viladot-Klassifikation wird zudem in der Literatur nur selten verwendet und eher in den Einschlusskriterien oder als Verlaufsparemeter hinzugezogen (Benedetti et al. 2010; Giannini et al. 2017; Memeo et al. 2019). Entsprechend dieser Limitationen und der eher niedrigen Fallzahl von 14 Probanden erschien uns die Einteilung nach Viladot für unsere Studie nicht zielführend.

Die ganganalytischen Messungen bildeten das Kernelement der Studie. Hierbei entschieden wir uns für die Untersuchung des Achillessehnenwinkels und des Fersenbodenwinkels in einer statischen und dynamischen Messreihe, um die Funktion auch während des Abrollvorgangs des Fußes bestimmen zu können. Ergänzend dazu wollten wir eventuelle Effekte auf die Schrittlänge und Gehgeschwindigkeit untersuchen. Der Vorteil einer Ganganalyse bestand darin, die Funktion des Rückfußes detailliert quantifizieren zu können und sie neben der Messung im Stand insbesondere auch in der Bewegung untersuchen und eventuelle Unterschiede in Stand und Gang herausstellen zu können.

Die Bestimmung des Achillessehnen- und Fersenbodenwinkels erwies sich dabei als gut umsetzbar und leicht in der Durchführung. Für die Aufnahmetechnik orientierten wir uns an der Studie von Gustafsson und Kriwat, die in ihrer Arbeit die häufigsten Fehlerquellen bei der Winkelbestimmung analysierten und entsprechende Hinweise zur korrekten Durchführung einer Ganganalyse herausstellen (Gustafsson und Kriwat 1998). Fest installierte Kameras erzeugten mit Ausnahme des zu berücksichtigenden Parallaxenfehlers (siehe unten) gut vergleichbare Ergebnisse. Die Klebepunkte waren gut zu positionieren und konnten am Computer nochmals auf die korrekte Lage hin überprüft werden. Das Einzeichnen der Winkel konnte dadurch sehr exakt erfolgen und mit der Auswertungssoftware automatisch berechnet werden. Hierdurch konnten wir detaillierte Messungen zur Achsstellung im Fuß- und Kniegelenk im Stand und in der Bewegung durchführen. Als Limitation muss dabei der Parallaxenfehler genannt werden. Hierbei handelt es sich um einen Fehler in der Winkelbestimmung, der sowohl aufgrund einer zunehmenden Verzerrung des Bildes zum Rand der Aufnahme durch die Linse, als auch bei stärkerer Rotation des Beines vorliegt. Die Winkel müssten für die Messung entsprechend immer auf die Bildmitte zentriert und exakt von dorsal betrachtet werden, was sich bei der gleichzeitigen Messung beider Füße nicht bewerkstelligen lässt (Marquardt et al. 2012). Eine Beeinflussung des Laufstils durch das Laufband im

Vergleich zu der Bewegung auf festem Untergrund ist laut einer Studie von Riley et al. aus dem Jahr 2008 nicht zu erwarten (Riley et al. 2008).

Die Messungen von Schrittlänge und Gehgeschwindigkeit erwiesen sich als wenig adäquate und sehr inkonstante Parameter mit hoher Streuung, zumal schon aufgrund des Wachstums der Patienten die Schrittlänge und Gehgeschwindigkeit tendenziell zunimmt. Diese Parameter erfahren dadurch ein hohes Bias und sind bei Kindern als Verlaufsparameter weniger gut geeignet. Sie wurden deshalb nach einer ersten Auswertung in der weiteren Beurteilung unserer Ergebnisse nicht berücksichtigt.

Die pedobarografische Messreihe brachte uns weitere Daten zur Funktion des Fußes vor und nach Intervention. Über die Belastung der verschiedenen Fußsegmente konnten wir detaillierte Ergebnisse in einer statischen und dynamischen Messreihe sammeln. Diese ergaben entscheidende Daten über Veränderungen der Druckverteilung der Füße und der Ausbildung eines Fußlängsgewölbes. Die Pedobarografie kann daher als Verlaufs- bzw. Vergleichsparameter angewendet werden, um einen Eindruck zum Fußlängsgewölbe zu gewinnen (Bennett et al. 2007; Hughes 1993). Die uns zur Verfügung stehende Auswertungssoftware lieferte uns jedoch lediglich die Druckwerte der einzelnen Sensoren und keine Gesamtdruckverteilung des Fußes. Dementsprechend bedienten wir uns einer behelfsmäßigen Auswertung und Summierung der Druckwerte über eine Rohdatentabelle in Excel und optisch gezogene Unterteilungslinien (siehe Abbildung 10). Diese manuelle Auswertung durch teils unterschiedliche Untersucher wird vermutlich Abweichungen von den tatsächlichen Werten ergeben haben und schränkt dadurch die Beurteilbarkeit der Daten ein. Eine detailliertere Auswertung der Fußdrücke wie von uns durchgeführt erwies sich zudem als aufwändig und fehleranfällig. Auch in der Literatur wird der diagnostische Wert der Pedobarografie entsprechend als eher gering angegeben (Choi et al. 2014; Hughes 1993).

Die von uns verwendeten Fragebögen schließen die Visuelle Analogskala Fuß und Sprunggelenk und den AOFAS-Score ein. Hierbei handelt es sich im Fall der VAS um eine visuelle Skala zur Analyse von funktionellen Problemen an Fuß und Sprunggelenk sowie zur Objektivierung des Schmerzstatus der Patienten. Der AOFAS-Score ist ein offizieller Fragebogen der American Orthopaedic Foot & Ankle Society, der ebenfalls die Funktion von Fuß und Sprunggelenk beurteilt. Beide oben genannten Fragebögen sind international anerkannte und validierte Tools für die Untersuchung von Funktion und Schmerzen im Fuß- und Sprunggelenksbereich (Ibrahim et al. 2007; Stüber et al. 2011; Ponkilainen et al. 2020), weshalb wir sie zur Analyse unserer Daten herangezogen haben. Dabei war uns bewusst, dass es sich nicht um speziell auf Kinder angepasste

Fragebögen handelt und sich die Aussagekraft dadurch gegebenenfalls verringert. Im Falle der VAS stellte auch die teilweise nicht kindgerechte Formulierung mancher Fragen ein Problem dar, weshalb einige Kinder genauere Erklärungen zu den Fragen und Hilfe beim korrekten Ausfüllen des Fragebogens benötigten. Dies beinhaltet das Risiko eines Bias durch den direkten Einfluss des Untersuchers. Weiter sahen wir uns im Vorfeld der Studie genötigt die VAS zu beschränken und Frage Nummer 11 (siehe Anhang) nicht in die Wertung einfließen zu lassen. Diese war von den Kindern noch nicht zu beantworten und hätte eventuelle Verunsicherung bei der Handhabung des Fragebogens gefördert. Zudem veränderten wir die Frage nach „Einschränkungen im Beruf“ (Frage Nr. 10, siehe Anhang) in „Einschränkungen in der Schule“. Wir schätzen dennoch die Aussagefähigkeit der Fragebögen als sehr hoch ein, da u.a. Stüber et al. von keiner Beeinflussung der Aussagekraft der VAS bei Nichtbeantworten einer Frage berichteten, wenn in der Auswertung die Gesamtzahl der Fragen dementsprechend angepasst wurde (Stüber et al. 2011). Weiter konnten sie auch keine Beeinflussung der Aussagekraft durch das junge Alter der Patienten bei Vorliegen eines Knick-Senkfußes nachweisen (Stüber et al. 2011).

Für den AOFAS-Score untersuchten wir die Füße des Patienten und beurteilten dabei zunächst sowohl Rückfuß, als auch Mittel- und Vorfuß. Bei der weiteren Verarbeitung der Ergebnisse beschränkten wir uns jedoch auf die Daten des Rück- und Mittelfußes, da hier präoperativ die deutlichsten Einschränkungen vorlagen und wir uns entsprechend positive Effekte durch die Arthrorise erhofften. Zudem schließt der Rückfußbereich die in der Ganganalyse bestimmten Winkel ein, was uns für die Korrelationsanalyse wichtig erschien. Der Mittelfußbereich wird als weiterer Bereich stark von der Fehlstellung beeinflusst. Durch die deutlichen Veränderungen im Bereich des Mittelfußes in der Pedobarografie erschien uns hier ein Vergleich besonders lohnenswert. Auch der AOFAS-Score ist dabei kein speziell auf Kinder ausgelegter Untersuchungsbogen und es liegen keine entsprechenden Studien über die Anwendung bei Kindern vor. Da unsere Probanden in ihrem Alter jedoch schon ein recht fortgeschrittenes Fußwachstum aufwiesen und das Ausfüllen des Fragebogens durch erfahrene Untersucher erfolgte, sahen wir kein entscheidendes Ausschlusskriterium für die Verwendung in unserer Studie. In der Literatur wurde der AOFAS-Score zur prä- und postoperativen Beurteilung von Operationsergebnissen teilweise kritisch betrachtet (Toolan et al. 2001). Zudem kann leicht ein Bias durch den Untersucher bei fehlender Verblindung erfolgen (Macaulay et al. 2018). Dennoch wurde er in der Metaanalyse von Metcalfe et al. zur Schraubenarthrorise beim kindlichen Knick-Senkfuß der AOFAS-Score als Outcomeparameter empfohlen (Metcalfe et al. 2011).

Trotz der angesprochenen Limitationen erfolgte die Bearbeitung der VAS durch die Kinder ohne größere Probleme oder Einflussnahme durch den Untersucher. Die Untersuchung des Fußes anhand des AOFAS-Scores gestaltete sich problemlos. Da es sich um gut validierte und empfohlene Fragebögen handelt sehen wir die Beurteilung der Fußfunktion und der Symptomatik der Kinder durch diese Fragebögen als gut an (Stüber et al. 2011; Metcalfe et al. 2011). Dennoch wäre es für Nachfolguntersuchungen interessant, eigene kindgerechte Fragebögen zu entwickeln, um so die oben genannten Limitationen zu umgehen. Weiterhin hätte eine separate Untersuchung der Füße mit je einem Fragebogen pro Fuß eine differenziertere Beurteilung auch im Seitenvergleich erlaubt. So wäre eine bessere Vergleichbarkeit insbesondere bei dem einseitig operierten Patienten mit dem nicht behandelten Fuß gegeben gewesen. Zudem hatte sich bei einem kleinen Teil der Studienteilnehmer ein unterschiedlich ausgeprägtes Ansprechen der Arthrorise an beiden Füßen ergeben, welches so ggf. besser beurteilbar gewesen wäre.

Eine weitere allgemeine Limitation der Studie besteht darin, dass die Messungen durch drei verschiedene Untersucher durchgeführt wurden. Dies ergab sich, da die Betreuung der Studie bis zu der post_28 Messung durch einen anderen Doktoranden erfolgte als das 1-Jahres Follow-Up. Zudem stand mit dem sportwissenschaftlichen Leiter des Ganglabores ein weiterer Untersucher zur Verfügung, der sich insbesondere um die Auswertungen der Ganganalyse und Pedobarografie kümmerte, aber auch die Untersuchungen des AOFAS-Scores durchführte.

4.3. Diskussion der Ergebnisse

Die klinischen Ergebnisse unserer Studie waren überwiegend positiv. Es gab keine größeren intra- oder postoperativen Komplikationen. Lediglich bei einem Patienten musste aufgrund einer Überkorrektur die Schraube einseitig nachkorrigiert werden (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b). Bei drei Probanden kam es zu leichten Beschwerden bei Belastung des Fußes, welche jedoch unter Physiotherapie nach wenigen Wochen vollständig rückläufig waren. Ein Kind beklagte leichte muskuläre Beschwerden im Wadenbereich, welche ebenfalls mit Physiotherapie gut zu behandeln waren. Nahezu alle Patienten und Erziehungsberechtigten gaben an, mit dem Verlauf und den Ergebnissen der Arthrorise zufrieden zu sein. Sowohl optisch, als auch funktionell ergab sich ein größtenteils physiologisches Gangbild. Es liegen nach einem Jahr keine pathologischen Beschwiellungen mehr vor und alle Patienten geben eine erhebliche Beschwerdeverbesserung an. Dies spiegelt sich auch in den Daten des ersten Teils unserer Untersuchung wider. Durch die mechanischen und nervalen Effekte

- 40 -

der Schraube konnten wir eine höchst signifikante Reduktion des Rückfußvalgus erreichen. Um einen Zielbereich der ermittelten Winkel im Sinne einer physiologischen Fußstellung zu definieren, orientierten wir uns an der Literatur von Sobel et al. und Waldecker et al. (Waldecker und Drewitz 2005; Sobel et al. 1999). Hiernach werteten wir einen Bereich von -2° bis $+6^{\circ}$ für den Fersenbodenwinkel, von 0° bis $+8^{\circ}$ für den Rückfußwinkel und von -3° bis $+3^{\circ}$ für die Beinachse als physiologisch (Hagen et al. 2019a). Anhand dieser Referenzwerte zeigten in den präoperativen statischen Messungen 24 von 27 Füßen (89%) einen pathologisch hohen Fersenbodenwinkel, sowie 25 von 27 Füßen (93%) einen entsprechend pathologischen Achillessehnenwinkel (siehe Tabelle 8). Diese konnten nach einem Jahr zu einem Großteil normalisiert werden, sodass nur noch ein Proband beidseits (7%) zu große Winkel im Sinne einer Unterkorrektur aufwies. Eine leichte Überkorrektur konnte bei zwei Patienten jeweils einseitig nachgewiesen werden (4%). Vergleichbares ergab sich auch für die dynamischen Messungen (siehe Tabelle 8). Interessanterweise zeigten sich bei der Messreihe vier Wochen nach Operation noch vermehrt leichte Über- und Unterkorrekturen der Rückfußwinkel. Dabei blieben die unterkorrigierten Füße weitgehend unkompliziert, die überkorrigierten wiesen jedoch teilweise prolongiert postoperative Schmerzen auf. Ein abwartendes Vorgehen hat sich dabei zunächst bewährt, da sich ein Großteil der Komplikationen im Verlauf selbst oder mit Unterstützung durch Physiotherapie limitierte. Der in der Auswertung angesprochene signifikante Winkelverlust bei den dynamischen Aufnahmen des Achillessehnenwinkels nach einem Jahr im Vergleich zu den post_28 Messungen führte zudem dazu, dass nach einem Jahr sogar mehr Probanden den gewünschten Zielbereich erreichten. Auch eine initial nicht optimal eingestellte Fußstellung reguliert sich im Verlauf also häufig noch durch den Effekt der Schraube, weshalb frühe Über- oder Unterkorrekturen zunächst zu tolerieren und ggf. engmaschiger zu kontrollieren sind. Dies kann als eine Bestätigung für den zeitlichen Korrektoreffekt der Schraube über das Fußwachstum interpretiert werden.

Tabelle 8: Ergebnisse der ganganalytischen Winkel im Vergleich zum physiologischen Zielbereich

		Mean	SD	Min	Max	Zielbereich	
						Winkel größer	Winkel kleiner
FB_S	pre	10,04	3,49	3,80	16,40	24	0
	post_28	3,00	3,51	-4,00	9,30	5	1
	post_1y	2,68	2,40	-2,80	8,60	2	1
AW_S	pre	12,49	2,74	7,00	18,30	25	0
	post_28	3,63	3,29	-2,70	9,90	3	4
	post_1y	4,45	2,81	-0,60	9,70	2	1
BA	pre	-1,97	1,86	-5,50	2,0	0	9
	post_28	-1,72	1,94	-7,10	2,70	0	10
	post_1y	-1,41	1,95	-5,50	2,0	0	7
FB_D	pre	7,94	3,15	0,60	13,40	22	0
	post_28	0,74	3,12	-5,93	7,27	1	5
	post_1y	1,22	2,15	-2,93	5,80	0	3
AW_D	pre	12,65	2,56	9,53	18,07	27	0
	post_28	4,58	3,03	-1,17	10,97	4	2
	post_1y	6,07	2,30	2,40	10,90	4	0

Lediglich bei einem der Probanden war aufgrund einer persistierenden symptomatischen Überkorrektur (persistierende Schmerzen) eine Nachkorrektur der Schraube notwendig. Bei diesem Kind zeigten sich in den präoperativen Messungen zunächst beidseits pathologisch hohe Fersenboden- und Achillessehnenwinkel entsprechend eines vermehrten Rückfußvalgus. Nach beidseitiger Intervention korrigierte sich im kurzen Verlauf bis zur post_28 Messung ein Fuß des Patienten in den gewünschten Zielbereich und wurde beschwerdefrei. Der andere Fuß wies jedoch eine in der Ganganalyse nachweisbare Überkorrektur auf und es bestanden anhaltende postoperative Schmerzen. Eine anschließende Physiotherapie konnte im Gegensatz zu den anderen Patienten mit leichter postoperativer Überkorrektur keine ausreichende Beschwerdelinderung erreichen, weshalb in diesem Fall die Entscheidung zur Nachkorrektur des betroffenen Fußes erfolgte. Der Eingriff umfasste ein geringfügig tieferes Eindrehen der Schraube und gestaltete sich komplikationslos. Auch dieser nachoperierte Patient wurde beschwerdefrei und erreichte beidseits physiologische Winkel des Rückfußes.

Fast alle Probanden zeigten zu Beginn der Studie eine leicht valgische Beinachse mit einem durchschnittlichen Winkel von $-1,97^\circ$ (Norm: $-3^\circ - +3^\circ$). Wir hatten uns erhofft, durch die veränderte Rückfußstellung auch einen Effekt auf die Beinachse nachweisen zu können, da u.a. Lampe et al. von Hinweisen auf eine Beeinflussung der Kniegelenke bei der Korrektur von Fußfehlstellungen berichtete (Lampe et al. 2004). Kosashvili et al. beschrieben zudem ein vermehrtes Auftreten von Knie- und Rückenschmerzen bei Vorliegen eines Knick-Senkfußes (Kosashvili et al. 2008). Unsere Ergebnisse nach

einem Jahr zeigten zwar einen geringen Rückgang der Valgusstellung auf -1.41° (siehe Tabelle 8), ein signifikanter Effekt durch die Arthrorise lässt sich daraus aber nicht ableiten.

Die Daten der Pedobarografie zeigten in der präoperativen Analyse eine vermehrte prozentuale Mehrbelastung der medialen Fußhälfte sowohl über dem Gesamtfuß, als auch in den einzelnen Unterteilungen. Postoperativ konnten wir im Verlauf eine signifikante Mehrbelastung des Außenfußes nachweisen. Diese zeigte sich dabei am deutlichsten im Bereich des Mittelfußes, was wir als Hinweis auf eine Verminderung der Senkfußkomponente und ein Aufrichten des Längsgewölbes ansahen. Diese Ergebnisse entsprachen auch unserem klinischen Eindruck eines aufgerichteten Längsgewölbes.

Allgemein zeigten in der präoperativen Messreihe sowohl in der Pedobarografie als auch in der Ganganalyse die statischen Aufnahmen eine ausgeprägtere Fehlstellung als die dynamischen Aufnahmen. Das Ausmaß der Differenz glich sich zwar über die Messzeitpunkte an, blieb aber von der Tendenz erhalten. Entsprechend der These einer übermäßigen Laxizität der Bänder als Ursache der Fehlstellung (Bernasconi et al. 2017; Mosca 2010; Pellegrin et al. 2014), lässt sich spekulieren, ob in der Bewegung eine geringere Belastung dieser Bandstrukturen bzw. eine vermehrte Aktivierung der umgebenden Muskulatur vorliegt, was die Ausprägung der Fehlstellung positiv beeinflusst. Gestützt wird diese Theorie durch eine Studie von Basmajian et al., die nachweisen konnten, dass in statischen Belastungen das Längsgewölbe vor allem passiv durch den Knochen-Band-Komplex gestützt wird und erst in der Bewegung die Muskulatur als dynamische Reserve hinzukommt (Basmajian und Stecko 1963; Gray und Basmajian 1968). Bei fehlender Stabilität der Bänder würde es entsprechend zu einem Absenken des Längsgewölbes in der statischen Belastung kommen und es wäre ggf. schon eine vermehrte Muskelaktivität nötig, um die Stabilität des Mittelfußes zu erhalten. Dazu beschrieben schon 1964 Mann und Inmann in einer Studie über die Aktivität der intrinsischen Fußmuskulatur, dass Patienten mit Knick-Senkfuß eine größere intrinsische Muskelaktivität benötigen um den Rückfuß zu stabilisieren als Vergleichsprobanden mit einem normal ausgebildeten Längsgewölbe (Mann und Inmann 1964). Auch konnten Basmajian et al. in elektromyografischen Studien zur Muskelaktivität im Fuß und Sprunggelenk eine Mehrbelastung des M. tibialis posterior in der Bewegung v.a. in der Phase des vollständigen Aufliegens des Fußes bei Probanden mit Knick-Senkfuß im Vergleich zu gesunden Probanden nachweisen. Dass die Bewegung dabei einen positiven Effekt auf die Ausprägung der Fehlstellung haben könnte, deutet Mosca in einem Review zu Knick-Senkfuß aus 2010 an. Darin berichtet er von einer größeren Stabilität des Fußgelenks in der Abrollphase, die mit einer

geringeren Beanspruchung der Bandstrukturen einhergeht (Mosca 2010). Entsprechend der genannten Studienergebnisse und unserer eigenen Daten scheint der Knick-Senkfuß in der statischen Belastung stärker ausgeprägt zu sein, da durch die fehlende Muskelaktivität und Stabilisierung des Rückfußes in der Bewegung die Bandlaxizität als vermutete Ursache nicht ausgeglichen werden kann. Dies könnte die Ermüdungserscheinungen der Füße und Schmerzen der Patienten nach längerem Stehen erklären, wobei bisher nicht genauer differenziert wurde, ob eher statische oder dynamische Belastungsphasen Beschwerden verursachen. Eine genauere Untersuchung zum Vergleich der Symptomatik nach längeren statischen und dynamischen Belastungen wäre daher ein interessanter Ansatz für weiterführende Untersuchungen.

Der Effekt der Arthrorise stellte sich in unseren Daten aber erfreulicherweise nicht nur in einer verbesserten Rückfußstellung, sondern auch in der schon angesprochenen deutlichen Symptomverbesserung der Patienten dar. Im AOFAS-Score des Rück- und Mittelfußes erreichten wir bei einem Teil der Kinder sogar die volle Punktzahl entsprechend einer normalen Fußfunktion. Fast alle Kinder konnten demnach nach einem Jahr wieder vermehrt Schuhe normaler Konfektionsgrößen tragen und auf Einlagen verzichten. Die visuelle Analogskala ergab ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Symptomatik der Patienten bis zur Beschwerdefreiheit. Dabei verbesserte sich die Fußfunktion und Schmerzsymptomatik der Patienten signifikant.

Die Ergebnisse der Fragebögen nach einem Jahr konnten dabei sogar teilweise signifikante Verbesserungen im Vergleich zu den post_28 Ergebnissen aufweisen. Entgegengesetzt dazu zeigte sich bei den ganganalytischen Messungen eher ein geringer Korrekturverlust, der sich jedoch wie schon oben beschrieben nicht in eine Verschiebung der Winkel außerhalb des angestrebten Zielbereichs äußerte. Entsprechend der sogar noch weiteren Symptomverbesserung der Kinder in den Fragebögen sollte der geringe Korrekturrückgang bei der Ganganalyse also nicht als Erfolgsverlust der Schraubenarthrorise fehlinterpretiert werden.

Für den zweiten Teil der Studie konnten wir in den anschließenden Korrelationsanalysen zwischen den Fragebögen und der Ganganalyse deutliche Zusammenhänge zwischen der Verbesserung von Schmerz und Funktion mit der Entwicklung der Rückfußstellung nachweisen. Diese zeigten sich dabei schon in den präoperativen Aufnahmen und waren am deutlichsten in den dynamischen Messreihen zu erkennen. Erste Ansätze zu Zusammenhängen zwischen der Klinik und dem Ausmaß der Fehlstellung berichteten schon Shin et al., die eine positive Korrelation zwischen dem Ausmaß der Deformität und der Schwere der Bewegungsstörung des Fußes zeigen konnten, wobei sie das

Kollabieren des Längsgewölbes als Ursache der gestörten Bewegung vermuteten (Shin et al. 2019). Kim et al. versuchten ebenfalls die Bewegungsstörung beim Knick-Senkfuß genauer zu untersuchen, wobei sie mit einer übermäßigen Valgusstellung des Rückfußes, einem Kollabieren des Mittelfußes und einer Vorfußabduktion der Patienten vergleichbare Ergebnisse zu unserer Studie nachweisen konnten (Kim et al. 2017). Sie schlossen daraus, dass zum einen die Valgusstellung die Hebellänge des Fußgelenks verkürzt und zum anderen das kollabierte Längsgewölbe die Muskelwirkung in der Push-off Phase ineffizienter werden lässt (Kim et al. 2017). Dabei decken sich ihre Ergebnisse mit der Untersuchung von Mann und Inmann 1964, die eine größere intrinsische Muskelbeanspruchung in der Push-off-Phase bei kindlichem Knick-Senkfuß nachweisen konnten (Mann und Inmann 1964). Im Zusammenhang mit den von uns nachgewiesenen signifikanten Korrelationen der dynamischen Ganganalyse mit der Verbesserung der Fußfunktion und Symptomatik der Patienten scheint eine dynamische Untersuchung des Gangvorgangs die tatsächlichen Beschwerden und Bewegungsstörungen der Probanden realistischer darzustellen als eine rein statische Aufnahme im Stand. Dabei steht dies im Gegensatz zu der tendenziell deutlicheren Ausprägung der Fehlstellung in den statischen Aufnahmen (siehe vorheriger Absatz).

Auch in den Korrelationsanalysen zwischen den Fragebögen und der Pedobarografie zeigte sich, dass insbesondere die dynamischen Aufnahmen der Pedobarografie Zusammenhänge zu der Symptomatik der Patienten aufweisen. Dabei konnte die Lateralisierung der prozentualen Druckverteilung vor allem im Bereich des Mittelfußes deutliche Korrelationen zu den Ergebnissen der Fragebögen zeigen. Obwohl der Effekt der Schraubenarthrorise auf einem Blockieren des Abklippens des Rückfußes beruht, wird dennoch über die vermehrte Rückfußstabilität und zusätzliche Verspannung der Tibialis posterior Sehne einem Zusammenbruch des Längsgewölbes entgegengewirkt (Basmajian und Stecko 1963; Gray und Basmajian 1968). Die zu Beginn noch häufige Senkfußkomponente führte zu einem meist vollständigen Aufliegen des Mittelfußes, wodurch eine vermehrte Druckbelastung der medialen Fußhälfte in diesem Bereich sichtbar war. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Bowen et al., die mit einer pedobarografischen Fußdruckmessung nachweisen konnten, dass der Mittelfuß bei Erwachsenen mit Knick-Senkfuß einer stärkeren Belastung und längeren Belastungsdauer ausgesetzt ist als die anderen Fußbereiche (Bowen et al. 1998). Dass zudem Jungen in den ersten neun Lebensjahren eine signifikant größere Mittelfußbreite aufweisen als Mädchen (Bosch et al. 2010), könnte ein Hinweis für Geschlechtsunterschiede in der Prävalenz sein.

Die erneut deutlicheren Korrelationen der dynamischen Messreihen in der Pedobarografie mit den Fragebögen stützen die Diskussion der Ergebnisse der Ganganalyse, nach der dynamische Aufnahmen das Beschwerdebild der Patienten besser widerspiegeln als statische Untersuchungen. Dennoch zeigten sich die Ergebnisse der Pedobarografie nicht in dem Ausmaß korrelierend zu den Ergebnissen der Frageböden wie die Entwicklung der Rückfußstellung. Auch in den präoperativen Messungen war lediglich ein Zusammenhang zwischen den Beschwerden der Patienten und dem Ausmaß der Rückfußfehlstellung nachweisbar. Entsprechend scheint die Pedobarografie keinen ähnlich hohen diagnostischen Stellenwert zu erreichen wie die Ganganalyse. Bereits 2014 konnten Choi et al. keine Korrelationen zwischen pedobarografischen Messungen und subjektiven Schmerzdruckpunkten bei Kindern mit Knick-Senkfuß nachweisen und stufen die diagnostische Validität der Pedobarografie daher als gering ein (Choi et al. 2014).

Dementsprechend konnten auch kaum relevante Zusammenhänge in der Korrelationsanalyse der Ganganalyse mit der Pedobarografie nachgewiesen werden. Dabei decken sich unsere Ergebnisse mit der Studie von Gustafsson aus dem Jahr 2000, der in einer Untersuchung zum Pronationswinkel beim Barfußlaufen auf einem Laufband eine Korrelationsanalyse zu pedobarografischen Messungen durchführte und nur in einem von 18 Messzeitpunkten einen Zusammenhang zwischen der Ganganalyse und der Pedobarografie nachweisen konnte (Gustafsson 2000). Interessanterweise zeigte sich auch dort der Zusammenhang eher in einer dynamischen Aufnahme. Trotz der herausgestellten geringeren diagnostischen Validität der Pedobarografie kann sie dennoch als additive dynamische Komponente zur klinischen Diagnostik v.a. in der Verlaufsdagnostik sinnvoll angewendet werden (Hughes 1993).

Aufgrund der Überlegenheit der dynamischen Ergebnisse in den Korrelationsanalysen im Vergleich mit den statischen Ergebnissen, scheint eine dynamische Untersuchung der Fehlstellung das Beschwerdebild der Patienten besser widerzuspiegeln. Entsprechend kann eine belastete Röntgenaufnahme aufgrund ihrer Statik zwar die Diagnose eines Knick-Senkfußes bestätigen, sie kann aber in der Ausprägung der radiologischen Parameter nicht auf die Beschwerdesymptomatik der Patienten hinweisen. In verschiedenen Studien zur klinischen Korrelation der Röntgendiagnostik beim Knick-Senkfuß u.a. von Moraleda und Mubarak aus 2011 und Yan et al. aus 2013 wurden die Röntgenparameter von symptomatischen und asymptomatischen Kindern mit Knick-Senkfuß verglichen (Yan et al. 2013; Moraleda und Mubarak 2011). Hierbei konnte lediglich der talonavicular coverage angle eine signifikante Korrelation nachweisen. Alle anderen bestimmten Parameter, die den Rückfuß, das Längsgewölbe,

die laterale Säule und die Pro- und Supination des Vorfußes umfassen, konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen aufweisen (Moraleda und Mubarak 2011). Die belastete Röntgenaufnahme des Fußes ist dennoch entscheidend in der Diagnostik des kindlichen Knick-Senkfußes, wenn sie in Kombination mit der Klinik des Patienten betrachtet wird (Benedetti et al. 2010). Eine ergänzende Ganganalyse kann in der Diagnostik des Knick-Senkfußes relevante Mehrinformationen hinsichtlich des Ausmaßes der Fehlstellung ggf. auch in Korrelation mit der Symptomatik der Patienten liefern. In Zukunft könne dadurch beispielsweise die Indikationsstellung zur operativen Therapie erleichtert werden oder bei Nachuntersuchungen auf eine strahlenbelastende (Kontroll-) Röntgenaufnahme verzichtet werden.

Herauszustellen ist die Entwicklung des Probanden, der nur eine einseitige Intervention erhalten hat. Seine präoperativen Messungen der Ganganalyse ergaben zu Beginn die deutlichste Abweichung der Rückfußwinkel aller Patienten. Nach der Arthrorise wiesen die Daten zunächst eher die Tendenz zur Überkorrektur auf, nach einem Jahr zeigten sich aber ebenfalls physiologische Parameter und eine vollständige Beschwerdefreiheit des Patienten. Zu diskutieren ist daher die Frage, ob bei bestehender Indikation eine gleichzeitige Intervention beider Füße, wie bei uns durchgeführt, einem zweizeitigen Vorgehen zu bevorzugen ist. Anhand unserer Daten nach einem Jahr konnte kein Unterschied in den Ergebnissen des einseitig operierten Patienten zum restlichen Kollektiv festgestellt werden. Ähnliches konnten auch Faldini et al. nachweisen, die in ihrer Untersuchung die Ergebnisse von bilateral gleichzeitig und monolateral operierten Kindern retrospektiv aufgegliedert haben, wobei die monolateral operierten Kinder jeweils nur einseitig betroffen waren. Auch sie konnten keinen signifikanten Unterschied des Outcomes nachweisen (Faldini et al. 2018). Bei unserem Probanden bestand jedoch aufgrund der zunächst bestehenden postoperativen Schmerzen die Tendenz, den operierten Fuß zu schonen, was sich zu Beginn in einer leichten Überkorrektur zeigte. Diese trat jedoch wie bereits beschrieben auch bei einem Teil der beidseits operierten Patienten auf und ist demnach für die ersten Wochen nach Operation nicht unüblich. Der Vorteil eines einseitigen Verfahrens besteht darin, den operierten Fuß zunächst entlasten zu können, was dem Patienten direkt postoperativ eine größere Mobilität an Gehstützen ermöglicht. Dennoch ist eine Belastung des Fußes für die Effekte der Arthrorise notwendig und erwünscht, wenn auch nicht unbedingt in den ersten postoperativen Tagen. Die zusätzliche Narkose beim zweizeitigen Verfahren und die damit bestehenden Risiken stellten dabei den entscheidenden Faktor für uns dar, die Patienten in einer Sitzung direkt beidseits zu operieren. Wir sehen uns durch die guten Ergebnisse dieser Studie auch weiterhin in dieser Verfahrensweise bestätigt. Eine genauere Untersuchung, die das zweizeitige Verfahren gegenüber dem einzeitigen bei

beidseitigem Knick-Senkfuß auf Vor- und Nachteile untersucht, wäre jedoch wünschenswert, zumal in der Untersuchung von Faldini et al. die monolateral operierten Kinder ebenfalls nur einseitig betroffen waren (Faldini et al. 2018). Nach der aktuellen Leitlinie zum kindlichen Knick-Senkfuß (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017) wurde bislang keine Empfehlung für oder gegen ein einzeitiges bilaterales Verfahren ausgesprochen.

Zusammenfassend schließen wir, dass die Schraubenarthrorise nach De Pellegrin eine sehr gute Methode ist, um Kinder mit flexiblem Knick-Senkfuß und Operationsindikation zu therapieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten bei allen Probanden eine signifikante Schmerzreduktion und Verbesserung der Fußfunktion. Zudem waren alle Kinder und Eltern zufrieden mit den Ergebnissen der Operation.

Wir folgern weiter, auch in Mitbetrachtung der vorausgegangenen Studien unserer Arbeitsgruppe (Hagen et al. 2019a; Hagen et al. 2019b), dass eine ganganalytische Untersuchung eine einfache und schonende Diagnostikmethode ist, um Fußfehlstellungen beim Kind zu evaluieren. In Hinsicht auf Nachuntersuchungen bietet sie sich an, um insbesondere Überkorrekturen als häufige Komplikation der Schraubenarthrorise frühzeitig erkennen und quantifizieren zu können. So kann eine engmaschigere Kontrolle erfolgen und bei Aufkommen von Beschwerden leichter die Indikation zur Nachkorrektur gestellt werden. Die Empfehlung der aktuellen Leitlinie zum kindlichen Knick-Senkfuß zur Ganganalyse als erweiterte Diagnostik bei speziellen Fragestellungen können wir demnach unterstützen (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) 2017). Ggf. kann die Ganganalyse auch großzügiger eingesetzt werden und die oben besprochenen Limitationen der belasteten Röntgenaufnahme um relevante Mehrinformationen zum Ausmaß der Knickfußkomponente und einer eventuellen Beschwerdesymptomatik ergänzen. Sie sollte aber immer auch im Kontext zur Symptomatik der Patienten gesehen werden, da die Effekte der Arthrorise abhängig von der Entwicklung der Fehlstellung im langfristigen Verlauf sind und sich früh-postoperative Über- oder Unterkorrekturen im Verlauf anpassen können. Die pedobarografischen Messungen können zusätzlich die Veränderungen im Mittelfußbereich und das Vorliegen der Senkfußkomponente darstellen. Sie bieten sich aber aufgrund der Komplexität der Auswertung und dem ausbleibenden Zusammenhang mit der Symptomatik der Patienten nach unserer Ansicht nicht zur genaueren Untersuchung der Fehlstellung an. Die Darstellung des Fußabdruckes mit fehlendem Längsgewölbe kann dennoch als erster Hinweis auf eine pathologische Fehlstellung des Fußes von Bedeutung sein. Dementsprechend sollte die

Betrachtung des Fußabdrucks optional zur Diagnostik und als Verlaufsparemeter mit hinzugezogen werden.

Aufgrund der erfreulichen Ergebnisse unserer Studie erhoffen wir uns eine zukünftig bessere Versorgung von Kindern mit flexiblem Knick-Senkfuß und Operationsindikation und einen weitreichenderen Einsatz der Ganganalyse als diagnostisches Mittel. Auch eine weitere Nachuntersuchung unserer Patienten zum Zeitpunkt der Schraubenentfernung und darüber hinaus wäre interessant und könnte die hier entstandenen Daten um Langzeitergebnisse ergänzen.

5. Zusammenfassung

5.1. Introduction

Pes planovalgus is a complex and frequent deformity in early childhood. It consists of two components: a valgus position of the rearfoot and a lowered longitudinal arch of the foot under weight. It usually occurs on both sides. Normally the pes planovalgus is clinically inapparent and self-limiting. Nevertheless, complications such as pain and dysfunction of the foot with persistence into adulthood can occur. If so, early therapy during the growth phase of the foot is essential. The diagnosis is determined by anamneses and clinical and radiological examination. The gait analysis can complete the diagnosis with detailed data on foot movement and pressure. Despite the potential of the gait analysis in the diagnosis of pes planovalgus, validated data is missing.

Asymptomatic children under the age of six should not receive any form of therapy because of the high potential of self-limiting. Therapy should be started in the event of persistence beyond the age of ten or in case of symptomatic courses. The most common invasive therapy is the screw-arthroereisis, as performed in this study. However, the evidence of therapeutic options is still deficient, especially there are no validated methods and parameters listed for determining the outcome.

In a previous study by our research group, the results of the screw-arthroereisis were examined in the short term. As a result, highly significant improvements in foot position and symptoms could be demonstrated.

The study's aim is to examine the long-term results of gait analysis and standardised questionnaires one-year after screw-arthroereisis. We want to show how arthroereisis effects the symptoms and functions of the patient's foot and whether gait analysis is a usable tool for diagnosis.

5.2. Methods

The clinical evaluation was performed at gait-laboratory and included the measurement of the ankles of the rearfoot and the pressure under the foot while standing and walking. The 2D gait-analysis included an orthopedic treadmill to analyze the heel-angle, the rearfoot-angle and the leg axis in a static and dynamic recording. Step length and walking speed was determined by the lateral view. The pedobarographic measurement provides information about the pressure distribution under both feet. Clinical outcome was evaluated using the AFOAS-Score and a visual analogue scale for foot and ankle (VAS FA).

5.3. Results

Overall, we analyzed 27 feet of 14 patients. No intraoperative complications were recorded. The mean age at surgery was 12.38 years, the mean follow-up period was 12.00 month. After one year we reached a significant reduction of the rearfoot, especially in the dynamic measurements. The Heel-Angle reduces from 7.94° preoperatively to 1.22° after one year, the Rearfoot-Angle from 12.65° to 6.07°. A pressure shift from 71.65% to 91.92% load of the lateral middlefoot symbolizes a raise of the longitudinal arch. The symptomatic outcome improves significantly from 74.40 Points to 92.66 Points in the "Total"-Category of the VAS and from 67.38 Points to 95.46 Points in the RF-Score of the AOFAS. The reduced rearfoot-valgus in the dynamic gait analysis showed significant correlations to the results of the VAS und AOFAS-Score. On the contrary, the pedobarographic data could not show significant correlations to the questionnaires results.

5.4. Discussion

The results of our study were mostly positive. The gait analyses turned out to be an easy and detailed diagnostic method. A good overview of the pressure under the foot and the development of the longitudinal arch was shown in the pedobarography, although the usability of this method as performed in our study was complicated. The questionnaires seemed to be good and validate tools for the analysis of the subjective outcome of the children.

Almost all children and parents state that they were satisfied with the result of the arthroereisis. In one case we detected a slight symptomatic overcorrection of one foot at the evaluation after 28 days, which is why a revision of this foot was necessary. Currently, all patients are out of symptoms. The rearfoot could be reduced into a physiological position in most children. A pressure-shift especially at the medial part of the foot indicated a development of the longitudinal arch. Although a slight decline of the results of the gait analysis after one year compared to the data after 28 days were detected, the symptomatology improved significantly.

Summarized we conclude, that the screw-arthroereisis according to De Pellegrin is a great therapeutic method for children with flexible flatfoot. Moreover, the gait analysis is a good diagnostic tool to quantify the valgus of the rearfoot. The pedobarographic measurement is more suitable as a screening diagnostic, but is too laborious for a detailed analysis.

6. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- Abbara-Czardybon, M.; Frank, D.; Arbab, D. (2014): Die Talus-Stopp-Schraubenarthrorise beim flexiblen kindlichen Pes planovalgus. In: *Operative Orthopädie und Traumatologie* 26 (6), S. 625–631. DOI: 10.1007/s00064-013-0243-6.
- Aldebeyan, Sultan; Sinno, Hani; Alotaibi, Mohammed; Makhdom, Asim M.; Hamdy, Reggie C. (2018): Utility outcome assessment of pes planus deformity. In: *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons* 24 (2), S. 119–123. DOI: 10.1016/j.fas.2016.12.005.
- Aminian, Gholamreza; Safaeepour, Zahra; Farhoodi, Mahboobeh; Pezeshk, Abbas Farjad; Saeedi, Hassan; Majddoleslam, Basir (2013): The effect of prefabricated and proprioceptive foot orthoses on plantar pressure distribution in patients with flexible flatfoot during walking. In: *Prosthetics and orthotics international* 37 (3), S. 227–232. DOI: 10.1177/0309364612461167.
- Arbab, Dariusch; Frank, Daniel; Bouillon, Bertil; Lüring, Christian; Wingenfeld, Carsten; Abbara-Czardybon, Mona (2017): Die subtalare Schraubenarthrorise zur Behandlung des symptomatischen, flexiblen Pes planovalgus – Ergebnisse und eine aktuelle Literaturübersicht. In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*. DOI: 10.1055/s-0043-120071.
- Baker, Jeffrey R.; Klein, Erin E.; Weil, Lowell; Weil, Lowell Scott; Knight, Jessica M. (2013): Retrospective analysis of the survivability of absorbable versus nonabsorbable subtalar joint arthroereisis implants. In: *Foot & ankle specialist* 6 (1), S. 36–44. DOI: 10.1177/1938640012470712.
- Basmajian, J. V.; Stecko, G. (1963): The Role of Muscles In Arch Support Of The Foot. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 45, S. 1184–1190.
- Benedetti, Maria Grazia; Berti, Lisa; Straudi, Sofia; Ceccarelli, Francesco; Giannini, Sandro (2010): Clinoradiographic assessment of flexible flatfoot in children. In: *Journal of the American Podiatric Medical Association* 100 (6), S. 463–471.
- Bennett, Damien; Walsh, Mike; O'Sullivan, Rory; Gallagher, Joseph; O'Brien, Tim; Newman, Christopher John (2007): Use of a dynamic foot pressure index to monitor the effects of treatment for equinus gait in children with cerebral palsy. In: *Journal of pediatric orthopedics* 27 (3), S. 288–294. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3180342899.
- Bernasconi, Alessio; Lintz, François; Sadile, Francesco (2017): The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. In: *EFORT open reviews* 2 (11), S. 438–446. DOI: 10.1302/2058-5241.2.170009.
- Böhm, Harald; Oestreich, Claudia; Rethwilm, Roman; Federolf, Peter; Döderlein, Leonhard; Fujak, Albert; Dussa, Chakravarty U. (2019): Cluster analysis to identify foot motion patterns in children with flexible flatfeet using gait analysis-A statistical approach to detect decompensated pathology? In: *Gait & Posture* 71, S. 151–156. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.04.028.

- Bosch, Kerstin; Gerss, Joachim; Rosenbaum, Dieter (2010): Development of healthy children's feet--nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. In: *Gait & Posture* 32 (4), S. 564–571. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.08.003.
- Bowen, T. R.; Miller, F.; Castagno, P.; Richards, J.; Lipton, G. (1998): A method of dynamic foot-pressure measurement for the evaluation of pediatric orthopaedic foot deformities. In: *Journal of pediatric orthopedics* 18 (6), S. 789–793.
- Caravaggi, Paolo; Lullini, Giada; Berti, Lisa; Giannini, Sandro; Leardini, Alberto (2018): Functional evaluation of bilateral subtalar arthroereisis for the correction of flexible flatfoot in children. 1-year follow-up. In: *Gait & Posture* 64, S. 152–158. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.06.023.
- Choi, Young Rak; Lee, Ho Seong; Kim, Dong Eun; Lee, Dong Ho; Kim, Jong Min; Ahn, Ji Yong (2014): The diagnostic value of pedobarography. In: *Orthopedics* 37 (12), e1063-7. DOI: 10.3928/01477447-20141124-52.
- currex motion analysis solutions: currex FOOTPLATE PRO Datenblatt. Download: 26.02.2018, 12:41 Uhr. In: http://www.currex.de/de/files/FOOTPLATE_PRO_web_DEU.pdf. Online verfügbar unter http://www.currex.de/de/files/FOOTPLATE_PRO_web_DEU.pdf, zuletzt geprüft am Download: 26.02.2018Uhr.
- currex motion analysis solutions (2010): Sprintex Produktinformation. Sprintex Natural Movements. Download: 26.02.2018, 12:22 Uhr. In: http://www.currex.de/de/files/SPRINTEX_Ortho_2010.pdf. Online verfügbar unter http://www.currex.de/de/files/SPRINTEX_Ortho_2010.pdf, zuletzt geprüft am Download: 26.02.2018Uhr.
- Dare, David M.; Dodwell, Emily R. (2014): Pediatric flatfoot. Cause, epidemiology, assessment, and treatment. In: *Current opinion in pediatrics* 26 (1), S. 93–100. DOI: 10.1097/MOP.0000000000000039.
- Davids, Jon R.; Gibson, T. Whitney; Pugh, Linda I. (2005): Quantitative segmental analysis of weight-bearing radiographs of the foot and ankle for children. Normal alignment. In: *Journal of pediatric orthopedics* 25 (6), S. 769–776. DOI: 10.1097/01.bpo.0000173244.74065.e4.
- Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) (2017): S2k-Leitlinie "Kindlicher Knick-Senk-Fuß". AWMF-Registernummer: 033/020. Unter Mitarbeit von Prof. Dr. Anna K. Hell. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC). Online verfügbar unter https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-020l_S2k_KKSF_Kindlicher_Knick-Senk-Fu%C3%9F_2017-06.pdf, zuletzt geprüft am 18.10.2019.
- Evans, A. M.; Rome, K. (2011): A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. In: *European journal of physical and rehabilitation medicine* 47 (1), S. 69–89.
- Faldini, C.; Mazzotti, A.; Panciera, A.; Perna, F.; Stefanini, N.; Giannini, S. (2017): Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. In: *Musculoskeletal surgery*. DOI: 10.1007/s12306-017-0491-y.
- Faldini, Cesare; Mazzotti, Antonio; Panciera, Alessandro; Persiani, Valentina; Pardo, Francesco; Perna, Fabrizio; Giannini, Sandro (2018): Patient-perceived outcomes after

subtalar arthroereisis with bioabsorbable implants for flexible flatfoot in growing age. A 4-year follow-up study. In: *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie*. DOI: 10.1007/s00590-017-2119-1.

Forriol, F.; Pascual, J. (1990): Footprint analysis between three and seventeen years of age. In: *Foot & ankle* 11 (2), S. 101–104.

Giannini, Sandro; Cadossi, Matteo; Mazzotti, Antonio; Persiani, Valentina; Tedesco, Giuseppe; Romagnoli, Matteo; Faldini, Cesare (2017): Bioabsorbable Calcaneo-Stop Implant for the Treatment of Flexible Flatfoot. A Retrospective Cohort Study at a Minimum Follow-Up of 4 Years. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 56 (4), S. 776–782. DOI: 10.1053/j.jfas.2017.02.018.

Gray, E. G.; Basmajian, J. V. (1968): Electromyography and cinematography of leg and foot ("normal" and flat) during walking. In: *The Anatomical record* 161 (1), S. 1–15. DOI: 10.1002/ar.1091610101.

Gustafsson, Björn (2000): Pronationswinkel des Rückfußes in Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit und der Fußstellung. In: *Orhtopädieschuhtechnik*.

Gustafsson, Björn; Kriwat, Michael (1998): Bewegungsanalyse: Objektivität nur bedingt möglich. In: *Orhtopädieschuhtechnik*.

Haendlmayer, Kurt Thomas; Harris, Nick John (2009): Flatfoot deformity: an overview. In: *Orthopaedics and Trauma* (23:6).

Hagen, Lasse; Kostakev, Mark; Pape, Jonas Paul; Peterlein, Christian-Dominik (2019a): Are there benefits of a 2D gait analysis in the evaluation of the subtalar extra-articular screw arthroereisis? Short-term investigation in children. In: *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 63, S. 73–78. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2019.02.019.

Hagen, Lasse; Pape, Jonas Paul; Kostakev, Mark; Peterlein, Christian-Dominik (2019b): Pedobarographic changes during first month after subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. DOI: 10.1007/s00402-019-03230-7.

Hughes, J. (1993): The clinical use of pedobarographie. In: *Acta orthopaedica Belgica* 59 (1), S. 10–16.

Ibrahim, Talal; Beiri, Almoghera; Azzabi, Mohamed; Best, Alistair J.; Taylor, Grahame J.; Menon, Dipen K. (2007): Reliability and validity of the subjective component of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society clinical rating scales. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 46 (2), S. 65–74. DOI: 10.1053/j.jfas.2006.12.002.

Jane MacKenzie, Angela; Rome, Keith; Evans, Angela Margaret (2011): The efficacy of nonsurgical interventions for pediatric flexible flat foot. A critical review. In: *European journal of physical and rehabilitation medicine* (47). DOI: 10.1097/BPO.0b013e3182648c95.

Jerosch, Joerg; Schunck, Jochem; Abdel-Aziz, Hazem (2009): The stop screw technique--a simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. In: *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons* 15 (4), S. 174–178. DOI: 10.1016/j.fas.2009.01.004.

Kanatli, Ulunay; Aktas, Erdem; Yetkin, Haluk (2016): Do corrective shoes improve the development of the medial longitudinal arch in children with flexible flat feet? In: *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association* 21 (5), S. 662–666. DOI: 10.1016/j.jos.2016.04.014.

Kellermann, Péter; Roth, Sandor; Gion, Katalin; Boda, Krisztina; Tóth, Kálmán (2011): Calcaneo-stop procedure for paediatric flexible flatfoot. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 131 (10), S. 1363–1367. DOI: 10.1007/s00402-011-1316-3.

Kim, Ha Yong; Shin, Hyuck Soo; Ko, Jun Hyuck; Cha, Yong Han; Ahn, Jae Hoon; Hwang, Jae Yeon (2017): Gait Analysis of Symptomatic Flatfoot in Children. An Observational Study. In: *Clinics in orthopedic surgery* 9 (3), S. 363–373. DOI: 10.4055/cios.2017.9.3.363.

Kosashvili, Yona; Fridman, Tali; Backstein, David; Safir, Oleg; Bar Ziv, Yaron (2008): The correlation between pes planus and anterior knee or intermittent low back pain. In: *Foot & ankle international* 29 (9), S. 910–913. DOI: 10.3113/FAI.2008.0910.

Lampe, R.; Mitternacht, J.; Schrödl, S.; Gerdesmeyer, L.; Nathrath, M.; Gradinger, R. (2004): Einsatz des Ganglabors bei klinisch-orthopädischen Fragestellungen in der Kinderorthopädie. In: *Klinische Padiatrie* 216 (2), S. 72–78. DOI: 10.1055/s-2004-44892.

Macaulay, Alec; Nandyala, Sreeharsha V.; Miller, Christopher P.; Ghorbanhoseini, Mohammad; Walley, Kempland C.; Kwon, John Y. (2018): Potential for Bias and the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scoring System. In: *Foot & ankle specialist* 11 (5), S. 416–419. DOI: 10.1177/1938640017740675.

Mann, R.; Inmann, V. T. (1964): Pasic Activity Of Intrinsic Muscles Of The Foot. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 46, S. 469–481.

Marquardt, M.; Ansah, P.; Dierkes, M.; Harrer, F.; Rockenfeller, B.; Schmidt, T.; Wegner, U. (2012): *Laufen und Laufanalyse. 26 Tabellen.* Stuttgart, New York: Thieme. Online verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=mXE7D9bYYVsC>.

Martinelli, Nicolò; Bianchi, Alberto; Martinkevich, Polina; Sartorelli, Elena; Romeo, Giovanni; Bonifacini, Carlo; Malerba, Francesco (2018): Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. In: *Journal of pediatric orthopedics. Part B* 27 (1), S. 82–87. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000449.

Memeo, Antonio; Verdoni, Fabio; Rossi, Laura; Ferrari, Elisa; Panuccio, Elena; Pedretti, Leopoldo (2019): Flexible Juvenile Flat Foot Surgical Correction: A Comparison Between Two Techniques After Ten Years' Experience. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 58 (2), S. 203–207. DOI: 10.1053/j.jfas.2018.07.013.

Metcalfe, Stuart A.; Bowling, Frank L.; Reeves, Neil D. (2011): Subtalar joint arthroereisis in the management of pediatric flexible flatfoot. A critical review of the literature. In: *Foot & ankle international* 32 (12), S. 1127–1139. DOI: 10.3113/FAI.2011.1127.

Michaudet, Charlie (2018): Foot and Ankle Conditions. Pes Planus. In: *FP essentials* 465, S. 18–23.


Moraleda, Luis; Mubarak, Scott J. (2011): Flexible flatfoot: differences in the relative alignment of each segment of the foot between symptomatic and asymptomatic

- patients. In: *Journal of pediatric orthopedics* 31 (4), S. 421–428. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31821723ce.
- Mosca, Vincent S. (2010): Flexible flatfoot in children and adolescents. In: *Journal of children's orthopaedics* 4 (2), S. 107–121. DOI: 10.1007/s11832-010-0239-9.
- Needleman, Richard L. (2005): Current topic review. Subtalar arthroereisis for the correction of flexible flatfoot. In: *Foot & ankle international* 26 (4), S. 336–346. DOI: 10.1177/107110070502600411.
- Pavone, Vito; Costarella, Luciano; Testa, Gianluca; Conte, Giorgio; Riccioli, Maria; Sessa, Giuseppe (2013): Calcaneo-stop procedure in the treatment of the juvenile symptomatic flatfoot. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 52 (4), S. 444–447. DOI: 10.1053/j.jfas.2013.03.010.
- Pellegrin, M. de (2005): Die subtalare Schrauben-Arthrorise beim kindlichen Plattfuss. In: *Der Orthopade* 34 (9), 941-53, quiz 954. DOI: 10.1007/s00132-005-0835-4.
- Pellegrin, Maurizio de; Moharamzadeh, Désirée; Strobl, Walter Michael; Biedermann, Rainer; Tschauner, Christian; Wirth, Thomas (2014): Subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) for the treatment of flexible flatfoot in children. In: *Journal of children's orthopaedics* 8 (6), S. 479–487. DOI: 10.1007/s11832-014-0619-7.
- Pfeiffer, Martin; Kotz, Rainer; Ledl, Thomas; Hauser, Gertrude; Sluga, Maria (2006): Prevalence of flat foot in preschool-aged children. In: *Pediatrics* 118 (2), S. 634–639. DOI: 10.1542/peds.2005-2126.
- Ponkilainen, Ville T.; Tukiainen, Erkki J.; Uimonen, Mikko M.; Häkkinen, Arja H.; Repo, Jussi P. (2020): Assessment of the structural validity of three foot and ankle specific patient-reported outcome measures. In: *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons* 26 (2), S. 169–174. DOI: 10.1016/j.fas.2019.01.009.
- Riley, Patrick O.; Dicharry, Jay; Franz, Jason; Della Croce, Ugo; Wilder, Robert P.; Kerrigan, D. Casey (2008): A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. In: *Medicine and science in sports and exercise* 40 (6), S. 1093–1100. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181677530.
- Roth, Sandor; Sestan, Branko; Tudor, Anton; Ostojic, Zdenko; Sasso, Anton; Durbesic, Artur (2007): Minimally invasive calcaneo-stop method for idiopathic, flexible pes planovalgus in children. In: *Foot & ankle international* 28 (9), S. 991–995. DOI: 10.3113/FAI.2007.0991.
- Saldívar-Cerón, Héctor Iván; Garmendia Ramírez, Alberto; Rocha Acevedo, Marco Antonio; Pérez-Rodríguez, Pedro (2015): Obesidad infantil: factor de riesgo para desarrollar pie plano. In: *Boletín médico del Hospital Infantil de México* 72 (1), S. 55–60. DOI: 10.1016/j.bmhix.2015.02.003.
- Shin, Hyuck Soo; Lee, Jae Hee; Kim, Eo Jin; Kyung, Min Gyu; Yoo, Hyo Jeong; Lee, Dong Yeon (2019): Flatfoot deformity affected the kinematics of the foot and ankle in proportion to the severity of deformity. In: *Gait & Posture* 72, S. 123–128. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.06.002.

- Singh, A.; Kumar, A.; Kumar, S.; Srivastava, R. N.; Gupta, O. P. (2010): Analysis of ankle alignment abnormalities as a risk factor for pediatric flexible flat foot. In: *Internet Journal of Medical Update - EJOURNAL* 5 (1). DOI: 10.4314/ijmu.v5i1.49290.
- Sobel, E.; Levitz, S.; Caselli, M.; Brentnall, Z.; Tran, M. Q. (1999): Natural history of the rearfoot angle. Preliminary values in 150 children. In: *Foot & ankle international* 20 (2), S. 119–125. DOI: 10.1177/107110079902000209.
- Stüber, Jens; Zech, Stefan; Bay, Raymund; Qazzaz, Abdelrhahman; Richter, Martinus (2011): Normative data of the Visual Analogue Scale Foot and Ankle (VAS FA) for pathological conditions. In: *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons* 17 (3), S. 166–172. DOI: 10.1016/j.fas.2010.05.005.
- Sullivan, J. A. (1999): Pediatric flatfoot. Evaluation and management. In: *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 7 (1), S. 44–53.
- Toolan, B. C.; Wright Quinones, V. J.; Cunningham, B. J.; Brage, M. E. (2001): An evaluation of the use of retrospectively acquired preoperative AOFAS clinical rating scores to assess surgical outcome after elective foot and ankle surgery. In: *Foot & ankle international* 22 (10), S. 775–778. DOI: 10.1177/107110070102201002.
- van Ooij, Bas; Vos, C. J. Stan; Saouti, Rachid (2012): Arthroereisis of the subtalar joint. An uncommon complication and literature review. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 51 (1), S. 114–117. DOI: 10.1053/j.jfas.2011.08.004.
- Vergara-Amador, Enrique; Serrano Sánchez, Rafael Fernando; Correa Posada, Juan Rafael; Molano, Adriana Carolina; Guevara, Oscar A. (2012): Prevalence of flatfoot in school between 3 and 10 years. Study of two different populations geographically and socially. In: *Colombia medica (Cali, Colombia)* 43 (2), S. 141–146.
- Viladot, A. (1954): Nuevo método de exploración estática del pie: el fotopodograma. In: *Clinica y laboratorio* 57 (335), S. 114–117.
- Volpon, J. B. (1994): Footprint analysis during the growth period. In: *Journal of pediatric orthopedics* 14 (1), S. 83–85.
- Waldecker, U.; Drewitz, S. (2005): Untersuchung zur Verteilung der Rückfußwinkel bei 550 Probanden. In: *Fuß & Sprunggelenk* 3 (4), S. 224–228. DOI: 10.1007/s10302-005-0133-9.
- Wirth, C. J.; Arnold, J. (2002): Orthopädie und orthopädische Chirurgie. Das Standardwerk für Klinik und Praxis. Herausgegeben von Carl Joachim Wirth und Ludwig Zichner: Thieme. Online verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=aObMvXxTyDQC>.
- Yan, Gui-sen; Yang, Zheng; Lu, Ming; Zhang, Jian-li; Zhu, Zheng-hua; Guo, Yuan (2013): Relationship between symptoms and weight-bearing radiographic parameters of idiopathic flexible flatfoot in children. In: *Chinese medical journal* 126 (11), S. 2029–2033.

7. Anhang

7.1. American Orthopaedic Foot and Ankle Society Score

	Philipps Universität Marburg	Fachbereich Medizin Zentrum für Orthopädie u. Unfallchirurgie
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------

American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Rückfuß Sektion / Hindfoot Section

(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	<input type="checkbox"/> 40 Pkt. <input type="checkbox"/> 30 Pkt. <input type="checkbox"/> 20 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Funktion:	1: keine Einschränkung, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschränkung bei den täglichen Aktivitäten Einschränkung bei Freizeitaktivitäten, keine Hilfen 3: Einschränkungen bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Stock 4: Starke Einschränkungen bei tägl. Aktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl, Korsett	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 07 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gehstrecke (in Blocks):	1: mehr als 6 2: 4 bis 6 3: 1 bis 3 4: weniger als 1	<input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 02 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gehen auf Oberfläche:	1: keine Schwierigkeiten auf sämtlichen Oberflächen 2: geringe Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigung, Leiter 3: große Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigungen, Leiter	<input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 03 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gangabnormalität:	1: keine, leichte 2: augenscheinlich 3: erhebliche	<input type="checkbox"/> 08 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Sagittale Bewegung:	1: normal, leichte Einschränkung. (30° oder mehr) 2: mäßige Einschränkung (15°-29°) 3: starke Einschränkung (weniger als 15°)	<input type="checkbox"/> 08 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Hinterfußbewegung (Inversion/ Eversion):	1: normal, oder leichte Einschränkungen (75%- 100% von normal) 2: mäßige Einschränkungen (25%-74%) 3: massive Einschränkungen (weniger als 25%)	<input type="checkbox"/> 06 Pkt. <input type="checkbox"/> 03 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gelenk-Hinterfuß-Sta- bilität (ap, varus/valgus)	1: stabil 2: definitiv instabil	<input type="checkbox"/> 08 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Achse:	1: gut plantigrader Fuß, Gelenk-Hinterfußachse norm. 2: ausreichend plantigrader Fuß, um einige Grad der Gelenk-Hinterfußachse abweichend o. Symptome 3: nicht plantigrader Fuß, erhebliche Abweichung der Gelenk-Hinterfußachse mit Symptomen	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.

American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Mittelfuß Sektion / Midfoot Section

(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	<input type="checkbox"/> 40 Pkt. <input type="checkbox"/> 30 Pkt. <input type="checkbox"/> 20 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Funktion:	1: keine Einschränkungen, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitakt., keine Hilfen 3: Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitakt, Stock 4: starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 07 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Schuhwerk:	1: modische Konfektionsschuhe ohne Einlagen 2: Konfektionsschuhe mit Einlagen 3: orthopädische Schuhe	<input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 03 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gehstrecke (in Blocks):	1: mehr als 6 2: 4 bis 6 3: 1 bis 3 4: weniger als 3	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 07 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Oberfläche:	1: keine Schwierigkeiten auf sämtlichen Oberflächen 2: geringe Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigung, Leiter 3: große Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigungen, Leiter	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gangabnorm:	1: keine, leichte 2: augenscheinlich 3: erhebliche	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Achse:	1: gut plantigrader Fuß, Mittelfußachse ausgerichtet 2: ausreichend plantigrader Fuß um einige Grad in der Mittelfußachse abweichend, keine Symptome 3: schlecht, non plantigrader Fuß, erhebliche Abweichung der Mittelfußachse, Symptome	<input type="checkbox"/> 15 Pkt. <input type="checkbox"/> 08 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.

American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Erster Vorfußstrahl / 1st Forefoot Ray
(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	☹ 40 Pkt. ☹ 30 Pkt. ☹ 20 Pkt. ☹ 10 Pkt.
Funktion: (Einschränkung der Aktivität)	1: keine Einschränkungen, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitakt., keine Hilfen 3: Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitakt, Stock 4: starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl	☹ 10 Pkt. ☹ 07 Pkt. ☹ 04 Pkt. ☹ 00Pkt.
Schuhwerk:	1: modische Konfektionsschuhe ohne Einlagen 2: Konfektionsschuhe mit Einlagen 3: orthopädische Schuhe	☹ 10 Pkt. ☹ 05 Pkt. ☹ 00Pkt.
MTP-Beweglichkeit:	1: normal, oder leichte Einschränkungen (75%- 100% von normal) 2: mäßige Einschränkungen (30%-74%) 3: massive Einschränkungen (weniger als 30%)	☺ 10 Pkt. ☺ 05 Pkt. ☺ 00Pkt.
IP-Bewegung:	1: keine Einschränkung 2: stark eingeschränkt	☺ 05 Pkt. ☺ 00 Pkt.
MTP-IP-Stabilität:	1: stabil 2: eindeutig stabil	☺ 05 Pkt. ☺ 00 Pkt.
Schwielen am Hallux MTP-IP-Gelenk:	1: keine oder symptomlos 2: mit Symptomen	☺ 05 Pkt. ☺ 00 Pkt.
Achsenstellung:	1: gut, Zehen achsengerecht 2: mittelmäßig, gewisse Achsenabweichungen 3: schlecht Achsenfehlstellungen	☺ 15 Pkt. ☺ 08 Pkt. ☺ 00 Pkt.



American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Vorfußstrahl 2-5 / Forefoot Rays 2-5

(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	⊗ 40 Pkt. ⊗ 30 Pkt. ⊗ 20 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
Funktion: (Einschränkung der Aktivitäten)	1: keine Einschränkungen, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitakt., keine Hilfen 3: Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitakt, Stock 4: starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl	⊗ 10 Pkt. ⊗ 07 Pkt. ⊗ 04 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
Schuhwerk:	1: modische Konfektionsschuhe ohne Einlagen 2: Konfektionsschuhe mit Einlagen 3: orthopädische Schuhe	⊗ 10 Pkt. ⊗ 05 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
MTP-Beweglichkeit:	1: normal, oder leichte Einschränkungen (75%- 100% von normal) 2: mäßige Einschränkungen (30%-74%) 3: massive Einschränkungen (weniger als 30%)	⊗ 10 Pkt. ⊗ 05 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
IP-Bewegung:	1: keine Einschränkung 2: stark eingeschränkt	⊗ 05 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
MTP-IP-Stabilität:	1: stabil 2: eindeutig stabil	⊗ 05 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
Hornschwielen in Bezug auf MTP-IP-2- 5:	1: keine oder symptomlos 2: mit Symptomen	⊗ 05 Pkt. ⊗ 00 Pkt.
Achsenstellung:	1: gut, Zehen achsengerecht 2: mittelmäßig, gewisse Achsenabweichungen 3: schlecht Achsenfehlstellungen	⊗ 15 Pkt. ⊗ 08 Pkt. ⊗ 00 Pkt.

7.2. Visuelle Analogskala Fuß und Sprunggelenk

Fuß und Sprunggelenk		Visual Analog Skala (VAS)	
Name _____	Geschlecht <input type="checkbox"/> m / <input type="checkbox"/> w	Datum VAS	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Klinik-Lfd.Nr. _____	<input type="text"/> <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
Untersucher _____	<input type="text"/> <input type="text"/>		
Geburtsdag <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Zeitpunkt <input type="checkbox"/> 1 Präoperativ; <input type="checkbox"/> 2 Postoperativ, vor Implantatentfernung (IE); <input type="checkbox"/> 3 IE; <input type="checkbox"/> 4 Nach IE		

Hinweise zu den Fragen und zum Ausfüllen des Bogens

Zeitraum:

- Beschreiben Sie bitte nur den Zeitraum vor dem Unfall bzw. der Operation
 Beschreiben Sie bitte nur den Zeitraum zwischen Unfall/Operation und Implantatentfernung (IE)
 Beschreiben Sie bitte nur den aktuellen Zeitraum

(Zutreffendes ist vom Untersucher anzukreuzen)

Auf der Rückseite / nächsten Seite befindet sich ein Fragebogen zum Thema „Fußprobleme“ (z.B. Schmerzen am Fuß). Zur Beantwortung der Fragen steht Ihnen eine Skala in Form einer Linie zur Verfügung. Bitte markieren Sie als Antwort auf jede Frage die Stelle auf der Linie mit einem **Kreuz (*)**, die Ihre persönliche Situation im o.g. Zeitraum (durchschnittlich) am besten wiedergibt. Am linken Rand der Linien befindet sich immer der für Sie negativste Wert. Am rechten Rand befindet sich der für Sie positivste Wert. Schreiben Sie bitte keine Klartextantworten wie z.B. „sehr lange, über 2 Stunden“!

Nachfolgend ist eine Beantwortung der Frage „Wie geht es Ihnen heute?“ als Beispiel wiedergegeben:



Die Antwort durch das Kreuz auf der Linie bedeutet in diesem Beispiel, daß es Ihnen heute „ganz gut“ aber nicht „sehr gut“ geht.

Beantworten Sie die Fragen bitte nur negativ, wenn Fußprobleme auch wirklich verantwortlich für die Einschränkung bei einer bestimmten Tätigkeit sind. Beispiel: Die Frage nach Fußproblemen beim Laufen würden Sie vielleicht mit „Laufen unmöglich“ beantworten, weil Sie ggf. die Puste zum Laufen nicht (mehr) haben. Gemeint ist jedoch, ob Sie prinzipiell ohne Fußprobleme laufen könnten oder, ob Ihnen Fußprobleme - wie Schmerzen - das Laufen unmöglich machen.

Bitte beantworten Sie wenn möglich jede Frage! Beantworten Sie nur die Fragen nicht, die für Sie gar nicht zutreffen! Nutzen Sie bitte das Feld „Ergänzungen / Besonderheiten / Bemerkungen“ für Verbesserungsvorschläge und / oder Kritik.

Erläuterung einiger Begriffe:

Körperliche Ruhe: Gemeint ist der Zustand, wenn Sie keine anstrengenden Dinge tun wie z.B. die Zeitung lesen, auf dem Sofa oder im Bett liegen, fernsehen, Musik hören, sich entspannen usw.

Körperliche Belastung: Gemeint ist der Zustand, wenn Sie Tätigkeiten verrichten wie z.B. schwere Gartenarbeiten, schwere berufsbedingte Arbeiten, anstrengenden Sport treiben usw.

Hausarbeiten: Gemeint sind alltägliche Tätigkeiten wie z.B. Fenster putzen, bügeln, staubsaugen, abwaschen, kochen, den Boden wischen, aufräumen usw.

Aktivitäten des täglichen Lebens: Gemeint sind persönliche Tätigkeiten wie z.B. aus dem Bett aufstehen, essen, sich waschen, sich anziehen, sich die Schuhe anziehen, Strümpfe anziehen, sich die Schuhe zubinden usw. Die Antworten auf diese Fragen sollte sich nicht auf Tätigkeiten beziehen, die bereits an anderer Stelle des Fragebogens (z.B. Stehen, Vorbeugen, Tragen von Gegenständen usw.) erfragt werden!

Ergänzungen / Besonderheiten / Bemerkungen

© Martinus Richter 2004



Starkes Hinken, invalidisierend	Wie stark veränderten Fußprobleme Ihr Gangbild?	Keine Veränderung, normales Gangbild
Ständig, immer	Wie oft haben Sie in körperlicher Ruhe Fußschmerzen?	Nie, sehr selten
Nicht auszuhalten, unerträglich	Wie stark sind dann in körperlicher Ruhe die Fußschmerzen?	Keine Schmerzen
Ständig, immer	Wie oft haben Sie bei körperlicher Belastung Fußschmerzen?	Nie, sehr selten
Nicht auszuhalten, unerträglich	Wie stark sind dann bei körperlicher Belastung die Fußschmerzen?	Keine Schmerzen
die Schwäche behindert mich erheblich	Haben Sie den Eindruck, dass ein Bein schwächer ist als das andere?	gleiche Kraft wie im gesunden Bein
Ausgedehnte, schmerzhafte Schwielen	Haben Sie Fußschwielen?	keinerlei Schwielenbildung
Mein Fuß/Sprunggelenk ist ständig völlig steif	Haben Sie ein Steifigkeitsgefühl im Bereich Sprunggelenk oder der Fuß?	keinerlei Steifigkeit zu keinem Zeitpunkt
Treppensteigen unmöglich	Wie stark schränken Fußprobleme das Treppensteigen ein?	Treppensteigen ohne Einschränkung möglich
Alter Beruf kann nicht mehr ausgeübt werden	Wie stark schränken Fußprobleme Ihren Beruf ein?	Keine Einschränkung im Beruf
Autofahren unmöglich	Wie stark schränken Fußprobleme das Autofahren ein (Kupplung, Gas, Bremse)?	Autofahren ohne Einschränkung möglich
Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln	Wie lange können Sie ohne Fußprobleme stehen?	Stundenlang, ohne Einschränkung
auf einem Bein stehen ist unmöglich	Wie stark schränken Fußprobleme das Stehen auf einem Bein ein?	keine Einschränkung
Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln	Wie lange können Sie ohne Fußprobleme gehen?	Stundenlang, ohne Einschränkung
Auch kurzes Laufen unmöglich	Wie stark schränken Fußprobleme das Laufen ein (z. B. Jogging, Waldlauf etc.)?	Längeres Laufen ohne Einschränkung möglich
Allein unmöglich, immer hilfsbedürftig	Wie stark schränken Fußprobleme Aktivitäten des tägl. Lebens ein (z. B. Anziehen, Essen, Waschen etc.)?	Keine Einschränkung
Reisen unmöglich	Wie stark schränken Fußprobleme das Reisen ein (z. B. zugfahren, busfahren, fliegen etc.)?	keine Einschränkung
Ich kann nur orthopädische Schuhe tragen	Haben Sie Probleme passende Schuhe zu finden?	Ich kann jeden Schuh tragen
Auf unebenem Gelände Gehen unmöglich	Wie stark schränken Fußprobleme das Gehen auf unebenem Gelände ein?	keinerlei Einschränkung in unebenem Gelände
komplett gefühllos	Wie stark sind Gefühlsstörungen an Ihrem Fuß/ Ihren Füßen?	Normales Gefühl

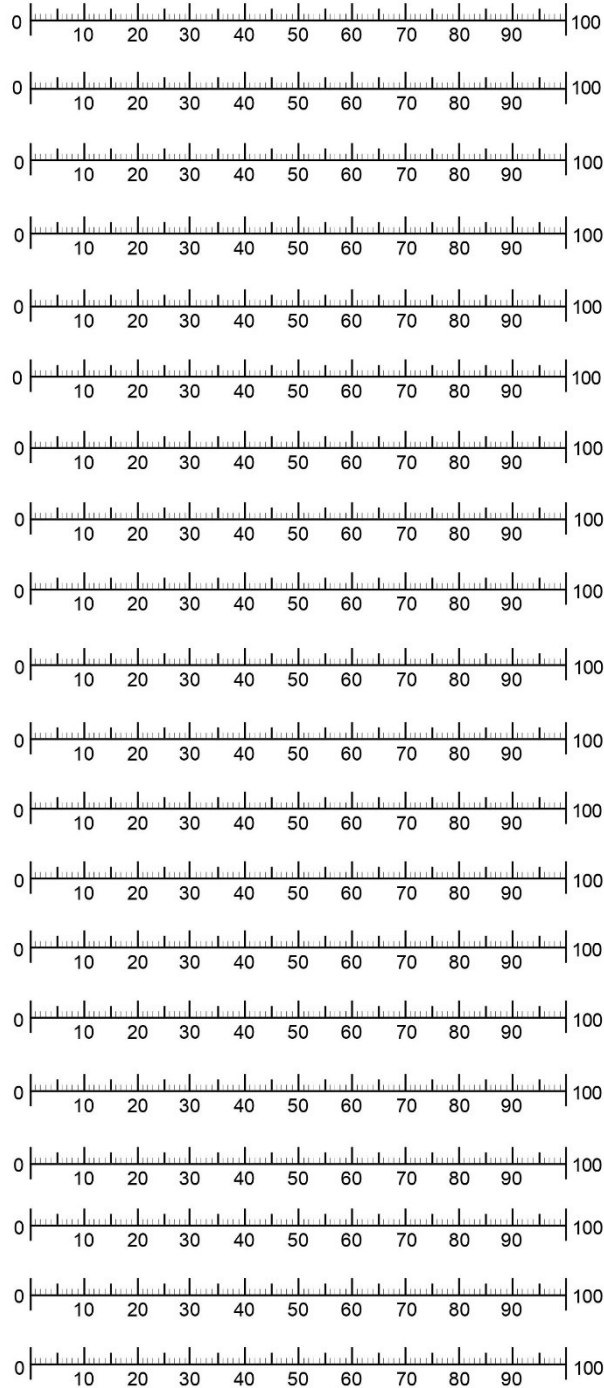
7.3. Messgitter zur Auswertung der VAS FA

Fuß und Sprunggelenk

Messgitter

Visual Analog Skala(VAS)

100% skaliert auf DIN-A4 Folie drucken



Bündig auf Fragebogen auflegen

7.4. Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung

Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH • Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie • Baldingerstraße • 35043 Marburg •

„Schraubenarthrorise nach de Pellegrin beim kindlichen Knick-Senkfuß – 1 jahres Follow-Up-Analyse des Gangbildes und der plantaren Druckverteilung – eine Pilotstudie“

Studieninformation und Einwilligungserklärung des Patienten und der Eltern

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Eltern,

wir bitten Sie und **Ihr Kind** um Teilnahme an dieser Studie.

Bei Ihrem Kind ist aufgrund der schmerzhaften Fehlstellung eines oder beider Füße und bei Nichtansprechen konservativer Maßnahmen vor einem Jahr eine operative Aufrichtung des Fußgewölbes über eine Schraube („Schraubenarthrorise nach de Pellegrin“) durchgeführt worden.

In einer ersten Forschungsstudie, an der Sie und Ihr Kind vor einem Jahr teilgenommen haben, wurde der unmittelbare postoperative Verlauf untersucht.

Erste Daten dieser vorangegangenen Studie, zeigen ausgezeichnete Ergebnisse in Bezug auf die anatomische Korrektur der Fußstellung, sowie eine eindeutige Verbesserung der Schmerzsymptomatik. Die ganganalytischen Messungen (Schrittlänge, Belastung, Auswirkungen auf die Pedobarographie) ergaben eine deutlich Entwicklung des Gangbildes sowohl in der statischen wie auch dynamischen Untersuchung bis an den physiologischen Bereich.

Eine weiterführende Untersuchung dieser Forschungsstudie mit Fokus auf den langfristigen postoperativen Verlauf der Schmerzen und die Auswirkungen auf das Gangbild liegt bislang nicht vor.

Ziel dieser prospektiven **Pilotstudie** ist es, den weiteren Verlauf ein Jahr nach Durchführung des Eingriffs zu eruieren.

Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Sitz der Gesellschaft: Gießen
Amtsgericht Gießen HRB 6384
www.ukgm.de

Geschäftsführung
Martin Menger (Vors.)
Prof. Dr. Werner Seeger (stv. Vors.)
Dr. Christiane Hinck-Kneip
Dr. Gunther Weiß
Prof. Dr. Jochen A. Werner

Aufsichtsratsvorsitzender
Dr. Dr. Martin Siebert



UNIVERSITÄTSKLINIKUM
GIESSEN UND MARBURG
Philipps-Universität Marburg

Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie

Geschäftsführender Direktor
Prof. Dr. med. Steffen Ruchholtz
Lehrstuhl für Unfallchirurgie

Medizinische Direktorin
Prof. Dr. med. Susanne
Fuchs-Winkelmann
Lehrstuhl für Orthopädie

Zertifiziertes Zentrum für
Alterstraumatologie
im Verfahren der DGU und DGG

Zertifiziertes Zentrum für
Arthroskopie und Gelenkchirurgie



zertifiziertes überregionales
TRAUMAZENTRUM
TraumaNetzwerk DGU® Z11430
TraumaNetzwerk Hessen /
Region Mittelhessen



Schwerverletzungs-
artenverfahren DGUV



Ärztliche Betreuung
der Basketball-
nationalmannschaft

Sekretariat Prof. Dr. Ruchholtz
Telefon: 06421/58-66216
Telefax: 06421/58-66721
Email: heuserpe@med.uni-marburg.de

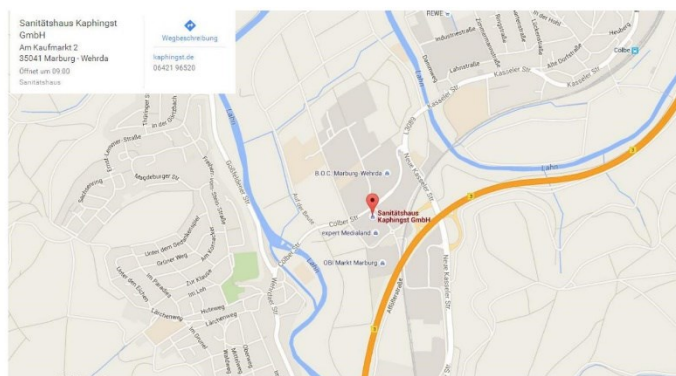
Sekretariat Prof. Dr. Fuchs-Winkelmann
Telefon: 06421/58-64913
Telefax: 06421/58-67007
Email: orthopae@med.uni-marburg.de

Zentrales Patienten-Management
von 8.00 - 16.00 Uhr
Telefon: 06421/58-64907
Telefax: 06421/58-64918

Terminvergabe Sprechstunden
Telefon: 06421/58-64904

- Endoprothetik
- Fußchirurgie
- Handchirurgie
- Hüftgelenksarthroskopie
- Kinderorthopädie
- Kniechirurgie
- Knochen- und Weichteilinfektionen
- Komplexe Traumatologie
- Schulter-, Ellenbogenchirurgie
- Sporttraumatologie
- Tumorchirurgie
- Wirbelsäulenchirurgie

Da an unserem Klinikum leider nicht die Möglichkeit zur Ermittlung der erforderlichen Daten besteht, findet die Analyse des Gangbildes unter Betreuung eines Sportwissenschaftlers im Ganglabor des Sanitätshauses Kaphingst (Am Kaufmarkt 2, 35041 Marburg- Wehrda) statt. Das Sanitätshaus Kaphingst stellt mit dem Ziel der Förderung der Wissenschaft Personal, Räumlichkeiten und modernste Ganganalyseverfahren kostenfrei und ohne finanzielles Interesse zur Verfügung.



Die ganganalytischen Untersuchungen sind nicht invasiv und sollten bei Ihrem Kind keine zusätzlichen Beschwerden auslösen. Sämtliche Untersuchungen können jederzeit unterbrochen werden.

Das Ausfüllen der Fragebögen sowie die einzelne Untersuchung im Ganglabor werden voraussichtlich 30-35 Minuten in Anspruch nehmen.

Ihre Einwilligung ist freiwillig und eine Rücknahme der Einwilligung ist jederzeit und ohne Angaben von Gründen möglich, ohne dass Ihnen oder Ihrem Kind hierdurch Nachteile entstehen.

Die Ergebnisse unserer Evaluation werden wir Ihnen nach Abschluss der Studie unaufgefordert zukommen lassen und auf Wunsch auch den Hausarzt / Kinderarzt informieren.

Verantwortlicher Studienleiter:

Priv.-Doz. Dr. med. Christian-Dominik Peterlein
Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Baldingerstrasse
35043 Marburg
Tel: 06421/5864920 Fax: 06421/5867007

Weitere Untersucher:

Name, Vorname, Titel: Hagen, Lasse, Sportwissenschaftler
Klinik/Institution: Sanitätshaus Kaphingst GmbH
Telefon-Nummer: 06421/9652703
E-Mail: l.hagen@kaphingst.de

Name, Vorname, Titel: cand. med. Pape, Jonas
Klinik/Institution: Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie, Universitätsklinikum
Marburg
Telefon-Nummer: 01738572421
E-Mail: papejo@students.uni-marburg.de

Schriftliche Einwilligungserklärung der Eltern und ggf. des Kindes

Wir haben den beigelegten Aufklärungstext gelesen und verstehen die Bedeutung der Studie. Alle Fragen zu der vorgesehenen Studie wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet.

Wir hatten genügend Zeit für unsere Entscheidung und sind bereit, unser Kind freiwillig an dieser Studie teilnehmen zu lassen. Wir sind damit einverstanden, dass die Studienleitung uns telefonisch kontaktiert, um die Termine zu den einzelnen Nachuntersuchungen zu vereinbaren.

Wir verstehen, dass wir jederzeit die Teilnahme unseres Kindes an dieser Studie beenden können, ohne diese Entscheidung weiter erklären oder begründen zu müssen und ohne dass uns und unserem Kind hieraus Nachteile entstehen.

Wir sind damit einverstanden, dass alle Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Untersuchung für eine Veröffentlichung in der medizinisch - wissenschaftlichen Literatur freigegeben werden können.

Mit freundlichen Grüßen

(Ort, Datum – Kind)

(Ort, Datum – Mutter)

(Ort, Datum – Vater)

—

(Ort, Datum – Projektleiter

—

8. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren:

Bartsch, Becker, Becker, Cetin, Czubayko, Daut, Dettmeyer, Feuser, Fritz, Geraedts, Gress, Hertl, Hofmann, Hoyer, Kinscherf, Kircher, Kirschbaum, Kömhoff, Kruse, Leonhardt, Lill, Lohoff, Mahnken, Maier, Moll, Neubauer, Neumüller, Nikolaizik, Nimsky, Obermayr, Oberwinkler, Oliver, Opitz, Pagenstecher, Peterlein, Rastan, Renz, Richter, Ruchholz, Sahmland, Schieffer, Schneider, Schratt, Seitz, Sekundo, Stuck, Thieme, Timmermann, Timmesfeld, Vahdad, Vogelmeier, Wagner, Weber, Weihe, Worzfeld, Wrocklage, Wulf.

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Peterlein für die Möglichkeit zur Promotion und die Überlassung des Themas, aber auch für die enge und freundschaftliche Betreuung.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Dr. rer. med. Lasse Hagen für die Betreuung der ganganalytischen Messungen, sowie der Unterstützung in fachlichen und statistischen Fragestellungen.

Dem Sanitätshaus Kaphingst in Marburg, Wehrda danke ich für die freundliche und unentgeltliche Bereitstellung ihres Ganglabors für unsere Studie.

Besonders bedanke ich mich bei allen Kindern und Angehörigen, die durch Ihre Teilnahme die Durchführung dieser Studie ermöglicht haben.

Zuletzt gilt mein Dank meinen Eltern, meiner Schwester und Cecilia für die Ermutigung und Unterstützung zur Durchführung dieser Arbeit, aber auch während des gesamten Studiums und darüber hinaus.