

Aus der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie

Universitätsklinikum des Saarlandes

Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. med. Dieter Kohn

Ergebnisse der Klumpfußbehandlung nach Ponseti

- eine prospektive klinische Studie -

Dissertation zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes

2016

vorgelegt von Johanna Ludwig

geboren am 21.11.1986 in Karlsruhe

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	5
1. Zusammenfassung	6
1.1. Summary	8
2. Einleitung	10
2.1. Inzidenz	11
2.2. Ätiologie	11
2.2.1. Endogene Einflüsse	11
2.2.2. Exogene Einflüsse	13
2.3. Pathoanatomie	14
2.3.1. Gelenke	15
2.3.2. Knochen	15
2.3.3. Muskulatur	17
2.3.4. Weitere Pathologien	17
2.4. Therapie	18
2.5. Therapie nach Ponseti	19
2.6. Fragestellung	21
3. Patienten und Methodik	22
3.1. Patienten	22
3.2. Therapie	22
3.2.1. Gipsverbände	23
3.2.2. Achillotenotomie	26
3.2.3. Schienentherapie	28
3.2.4. Compliance-Analyse bezogen auf Thacker et al. (2005)	30
3.2.5. Individuelle Schienentragezeit	30
3.3. Nachuntersuchung	31
3.3.1. Scores	32
3.3.2. Score nach Pirani	32
3.3.3. Score nach Dimeglio	32
3.3.4. Score nach Laaveg und Ponseti	33
3.3.5. Score nach Atar	34
3.3.6. Score nach McKay	35
3.4. Fotografische Fußuntersuchung mittels Podograph	36
3.5. Röntgenuntersuchung	38
3.6. Statistische Auswertung	40
4. Ergebnisse	42
4.1. Patienten der Studie	42
4.2. Analyse der Therapie	44
4.2.1. Gipsverbandtherapie	44
4.2.2. Die Schienentherapie	45
4.2.3. Compliance-Analyse bezogen auf Thacker et al. (2005)	46
4.2.4. Individuelle Schienentragezeit	47
4.2.5. Komplikationen mit der Schienentherapie	49
4.3. Klinische Untersuchung	50
4.3.1. Zehen und Hackengang	51
4.3.2. Beweglichkeit in Dorsalextension und Plantarflexion	52
4.3.3. Beweglichkeit in Inversion und Eversion	52
4.3.4. Vorfußadduktion und Rotation des Subtalgelenks	53
4.4. Ergebnisse der Scores	54
4.4.1. Score nach Pirani	54
4.4.2. Score nach Dimeglio	56
4.4.3. Score nach Laaveg und Ponseti	58

4.4.4. Score nach Atar	58
4.4.5. Score nach McKay	59
4.5. Auswertung der podographischen Bilder	61
4.6. Röntgenologische Untersuchung	61
4.6.1. Talokalkanear- und Talus-Metatarsale-I-Winkel in der a.-p. Röntgenaufnahme	61
4.6.2. Interossäre Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme	64
4.6.3. Talus-Metatarsale-I-Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme	65
4.6.4. Tibiokalkanearwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme	66
4.6.5. Tibiotalarwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme	67
4.6.6. Talokalkaneärer Index nach Beatson et al. (1966)	68
5. Diskussion	70
5.1. Überblick	70
5.2. Studiendesign	71
5.2.1. Patientenzahl	71
5.2.2. Klumpfußausprägung	71
5.2.3. Einschlusskriterien	72
5.3. Methode	73
5.3.1. Gipstherapie	73
5.3.2. Tenotomie	75
5.4. Diskussion der Ergebnisse	76
5.4.1. Scores	76
5.4.2. Score nach Pirani und Dimgelio	77
5.4.3. Gegenüberstellung der Bewertungssysteme	80
5.5. Klinische Untersuchung	83
5.5.1. Dorsalextension/Plantarflexion	83
5.5.2. Eversion und Inversion	85
5.5.3. Zehen- und Hackengang	85
5.6. Analyse der Podographenauswertung	86
5.6.1. Limitationen der Podographenauswertung	87
5.7. Schienentherapie	88
5.7.1. Compliance	88
5.7.2. Rezidive	92
5.7.3. Limitationen der Schienentherapieauswertung	93
5.8. Evaluation der radiologischen Befunde	95
5.8.1. Talokalkanearwinkel in der antero-posterioren Röntgenaufnahme	95
5.8.2. Talokalkanearwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme	96
5.8.3. Talokalkaneärer Index	97
5.8.4. Talus-Metatarsale-I-Winkel in der antero-posterioren Röntgenaufnahme	99
5.8.5. Talus-Metatarsale-I-Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme	100
5.8.6. Tibiotalarwinkel und Tibiokalkanearwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme	101
5.8.7. Relevanz der radiologischen Untersuchung in der Bewertung des Klumpfußes	102
5.8.8. Limitationen der radiologischen Winkelbemessung	103
6. Schlussfolgerung	105
7. Literaturverzeichnis	106
8. Anhang	117
8.1. Studienprotokoll	117
8.2. Scores	119
9. Veröffentlichung	125
10. Danksagung	126

Abkürzungen

Abb. = Abbildung

a.-p. = antero-posterior

jpg = Joint Photographics expert Group

Lig. = Ligamentum

M. = Musculus

Mm. = Musculi

Nr. = Nummer

SD = Standard deviation (Standardabweichung)

Std = Stunden

1. Zusammenfassung

Hintergrund: Der Klumpfuß ist mit einer Inzidenz von 1,0 bis 1,4 bei 1000 Neugeborenen in der weißen Bevölkerung eine häufige Fehlbildung (Wynne-Davies 1964). Entsprechen früher operative Behandlungsmethoden dem Standard, so gilt heute die konservative Therapiemethode nach Ponseti als die Methode der Wahl (Brand 2009, Zions et al. 2012). In der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie am Universitätsklinikum Homburg wurde im Jahr 2006 die Behandlung nach Ponseti als Standardbehandlung für die Klumpfußtherapie eingeführt. Ziel dieser prospektiven klinischen Studie war es, die Befunde vor Behandlungsbeginn mit den Ergebnissen einer Nachuntersuchung zu vergleichen, klinische Ergebnisse den radiologischen Befunden gegenüberzustellen und während der Therapie aufgetretene Probleme aufzuzeigen.

Material und Methoden: Die Studie erfasste 52 Klumpfußbehandlungen bei 34 Patienten, die von 2006 bis 2009 durchgeführt wurden. Nachuntersucht wurden 82,4 % der Patienten (n = 28) mit 82,7 % der Klumpfüße (n = 43). Das durchschnittliche Alter bei der Nachuntersuchung betrug 27,67 (\pm SD 10,64) Monate. Die Klumpfüße wurden vor Behandlungsbeginn nach den Scores nach Pirani und Dimiglio bewertet. Diese Scores wurden auch bei der Nachuntersuchung erhoben. Des Weiteren erfolgte hier die Bewertung durch die Scores nach Laaveg und Ponseti, Atar und McKay. Es wurden Winkelmessungen an antero-posterioren und lateralen Röntgenaufnahmen der Füße, die während der Behandlung erstellt worden waren, durchgeführt. Es erfolgte eine klinische Untersuchung der Patienten, eine Bemessung von Podographie-Bildern und eine Befragung der Eltern über Komplikationen und Compliance während der Gips- und Schienentherapie. Im Rahmen der Studie wurde ein neuer Ansatz zur Quantifizierung und Beurteilung der Compliance während der Schienenbehandlung in Abhängigkeit vom Patientenalter, der täglichen Schienentragzeit und des Zeitpunkts seit Therapieabbruch, die „individuelle Schienentragzeit“, entwickelt.

Ergebnisse: Nur 28 % der Klumpfüße wiesen Probleme bei der Gipsbehandlung auf, kein Problem führte zum Therapieabbruch. Eine Druckstelle benötigte operative Behandlung. Der Score nach Pirani verbesserte sich von der Erstvorstellung bis zur Nachuntersuchung um 4,72 (\pm SD 0,70) entsprechend 78,67 % des gesamten Scorewertes. Der Score nach Dimeglio verbesserte sich um 9,59 (\pm SD 2,38) entsprechend 47,95 % des gesamten Scores. Bei der Nachuntersuchung lagen die Füße im

Score nach Laaveg und Ponseti mit durchschnittlich 92,98 (\pm SD 5,12) Punkten, im Score nach Atar, mit durchschnittlich 85,16 (\pm SD 12,02) Punkten, im „exzellenten“ Bereich der Scores. Im Score nach McKay lagen die Füße mit 158,84 (\pm SD 19,87) Punkten im „befriedigenden“ Bereich.

Orientierend an den Compliance-Kriterien von Thacker et al. (2005) wurden Patienten von elf Füßen (25,6 %) als non-compliant bewertet, bezogen auf die berechnete „individuelle Schienentragezeit“ wurden sieben Füße (16,2 %) als „non-compliant“ eingestuft. In der antero-posterioren Röntgenaufnahme lag bei „complianten“ Kindern ein signifikant größerer Talokalkanearewinkel vor, als bei „non-complianten“ Kindern ($p = 0,04$; $p = 0,03$).

Der talokalkaneare Winkel in den lateralen Röntgenaufnahmen korrelierte signifikant mit allen bei der Nachuntersuchung erhobenen Scores ($p < 0,05$). Der Mann-Whitney U-Test für unabhängige Stichproben zeigte einen signifikanten Unterschied ($p = 0,009$; $Z = -2,575$) in Bezug auf den Score nach Laaveg und Ponseti für Füße mit einem lateralen talokalkanearen Winkel $\leq 25^\circ$, entsprechend einem Klumpfuß (Döderlein 1999), verglichen zu Füßen mit einem Winkel $> 25^\circ$.

Die Auswertung der prozentual belasteten Fußfläche in den Bildern des Podographen zeigte in den Auswertungen keinen Unterschied zu den normalen Füßen ($p = 0,272$), keine Korrelation zu den Winkeln im antero-posterioren Röntgenbild ($r > -0,185$; $p > 0,356$) oder in der lateralen Röntgenaufnahme ($r > -0,53$, $p > 0,432$).

Auch die Korrelationsanalyse zwischen den Scores der Nachuntersuchung und der prozentual belasteten Fußfläche zeigte keine signifikante Korrelation ($r > -0,168$, $p > 0,432$).

Schlussfolgerung: Die Behandlung der Klumpfüße nach Ponseti ist eine komplikationsarme Therapie. In unserem Patientengut erzielten wir mit dieser Behandlung nach einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 27 Monaten sowohl klinisch wie auch radiologisch gute Ergebnisse. Klinische Scores, insbesondere der Score nach Laaveg und Ponseti, korrelierten gut mit dem radiologischen Verlauf. Die Indikation zur radiologischen Untersuchung sollte daher zurückhaltend gestellt werden.

Der notwendige Zeitrahmen für die Schienentherapie sollte anhand weiterer Studien genauer untersucht werden. Hierzu wäre ein universelles Bewertungssystem des Klumpfußes und die Verwendung der „individuellen Schienentragezeit“ von Vorteil.

1.1. Summary

Introduction: Idiopathic clubfoot is a common congenital orthopaedic problem with a reported incidence of 1,0 to 1,4 per 1000 live births in white population. Surgical treatment used to be the common therapy for clubfeet. In the last decades the Ponseti Method was introduced and widespread and is nowadays known to be the common therapy for clubfeet. The Department for Orthopaedics and Orthopaedic surgery, University Homburg, introduced the Ponseti Method in 2006. This prospective study was supposed to evaluate the efficacy of the Ponseti Method for clubfoot treatment, compare clinical to radiological results and indicate problems using the Ponseti Method.

Methods: 34 children with 52 idiopathic clubfeet were treated by the Ponseti Method between 2006 and 2009. Before starting treatment the feet were scored using the Pirani and Dimeglio Score. After a mean follow-up of 27,67 (\pm SD 10,64) months 82,4 % of the patients (82,7 % of the clubfeet) were re-examined and scored by the Pirani, Dimeglio, Laaveg and Ponseti, Atar and McKay Score. To compare clinical results to radiological findings, radiographs of the clubfeet were used for angle measurements. The used radiographs had been taken during the cause of treatment. During follow-up photographs of the feet were taking while the children were standing on a podograph. The results were compared with the normal foot (patient with unilateral clubfoot) on the one hand, and compared to radiographic measurements on the other hand. Patients and parents were asked standardised questions about complications and compliance while using the Ponseti-brace. To quantify the brace-use and therefore objectify the compliance a new way of calculation an „individual brace-use-time“ was established taking the children's age, daily brace-use and time since ending the treatment into account.

Results: 28 % of the clubfeet showed problems during cast therapy, none of these problems lead to a delay in treatment. One pressure sore needed surgical treatment. The Pirani Score improved by 4,72 (\pm SD 0,70), the Dimeglio Score by 9,59 (\pm SD 2,38) points between starting treatment and follow-up. This equals an improvement of 78,67 % in the Pirani Score and 47,95 % improvement in the Dimeglio Score regarding the overall score points. The clubfeet showed a mean of 92,98 (\pm SD 5,12) points in the Laaveg and Ponseti Score and 85,16 (\pm SD 12,02) points in the Atar Score during follow-up. Therefore the in average achieved points correspond to an

„excellent“ result. Using the McKay Score clubfeet gained an average score of 158,84 (\pm SD 19,87) points, according to a „satisfying“ result.

Compared to compliance criteria defined by Thacker et al. (2005) eleven clubfeet (25,6 %) were marked as non-compliant. Looking at the „individual brace-use-time“ seven clubfeet (16,2 %) were rated as non-compliant.

The talocalcaneal angle in the antero-posterior view was significantly greater in clubfeet when children were compliant in brace-use than in children who were non-compliant ($p = 0,04$; $p = 0,03$).

The talocalcaneal angle in the lateral view showed significantly correlation to all scores used during follow-up ($p < 0,05$). The Mann-Whitney U-Test indicated a significant difference between a talocalcaneal angle less than 25° (associated with a clubfoot deformity), and an angle more than 25° (normal foot) in reference to the Laaveg and Ponseti Score ($p = 0.009$; $Z = -2,575$).

The measurement of the percental pressured area of the feet in the photographs of the podograph showed no difference in clubfeet and normal feet ($p = 0,272$). There was no correlation between the percental pressured area of the feet and angles measured in the antero-posterior view ($r > -0,185$; $p > 0,356$), as well as in the lateral view ($r > -0,53$, $p > 0,432$). Likewise correlation analysis showed no correlation of the percental pressured area of the feet and scores at follow-up ($r > -0,168$, $p > 0,432$).

Conclusion: Using the Ponseti Method for clubfoot treatment proved to be a reliable therapy with minor complication rates. After a mean follow-up of 27 months results in scores and radiographic measurements showed satisfying results. Clinical scores proved to be a reliable tool to measure outcome. Therefore indications of radiographic examinations should be considered even more conservative. In future the required time of brace-use should be closer evaluated. Therefore the use of a universal score system and the calculation of the “individual brace-use-time” would be an advantage.

2. Einleitung

Der Klumpfuß beschreibt eine komplexe Fußdeformität, die sich aus mehreren Merkmalen zusammensetzt. Die klinischen Charakteristika der Deformität werden im medizinischen Fachbegriff „Pes equinovarus exkavatus et adduktus“ zusammengefasst. Der Klumpfuß besteht aus der Kombination eines Spitzfuß („equinus“), einer nach medial gedrehten Ferse („varus“), einem angehobenen Fußinnenrand („supinatus“), einer pathologischen Vorfußadduktion („adduktus“) und einem Hohlfuß („exkavatus“).



Abb. 1 Ein Tag altes Neugeborenes mit beidseitigem Klumpfuß.

Die einzelnen Komponenten der Fehlbildungen können unterschiedlich stark ausgeprägt und unterschiedlich weich zu redressieren sein. Grundsätzlich besteht eine Unterscheidung in einen primären Klumpfuß und einen sekundären Klumpfuß. Der sekundäre Klumpfuß kann aufgrund unterschiedlichster Grunderkrankungen, wie neuromuskuläre Pathologien, posttraumatische Ursachen, Knochenstoffwechselstörungen, sekundär bei Syndromerkrankungen oder iatrogenen Ursachen entstehen (Döderlein 1999, Krauspe R. 2006). Der primäre, idiopathische oder kongenitale Klumpfuß ist demnach eine Ausschlußdiagnose. Die ursächliche Grunderkrankung beeinflusst sowohl die Therapie als auch das Ergebnis stark. Da in dieser Studie ausschließlich Patienten mit primären Klumpfußdeformitäten einbezogen wurden,

wird auch im Folgenden der primäre Klumpfuß im Fokus stehen. Synonyme hierfür stellen der idiopathische oder kongenitale Klumpfuß dar.

2.1. Inzidenz

Der Klumpfuß ist mit einer Inzidenz von 1,0 bis 1,4 bei 1000 Neugeborenen in der weißen Bevölkerung eine häufige Fehlbildung (Wynne-Davies 1964, Danielsson 1992, Wallander et al. 2006). Seltener tritt die Fehlbildung im chinesischen Genom (0,5/1000 Geburten) auf (Krauspe R. 2006) und deutlich häufiger (6/1000 Geburten) bei der polynesischen Bevölkerung (Chapman et al. 2000). Jungen sind häufiger betroffen als Mädchen (3:1) (Cartlidge 1984, Wallander 2010, Ford-Powell et al. 2013). Ein bilateraler Klumpfuß liegt in etwa der Hälfte der Fälle vor (Döderlein 1999).

2.2. Ätiologie

Die Ätiologie und Pathogenese des Klumpfußes wird auch heute noch kontrovers diskutiert. Knochen- oder Gelenkpathologien wurden von einigen Autoren als die primäre Fehlbildung gesehen (Brockman 1937, Kaplan 1972). Andere gingen vorrangig von Muskelfehlbildung (Ippolito et al. 2009, Moon et al. 2014) oder atypischer Sehneninsertation aus (Bechtol et al. 1950). Auch Nervenläsionen, genetische Defekte (Alvarado et al. 2010, Lu et al. 2012, Moon et al. 2014) oder Entwicklungsstillstand (Gardner et al. 1959, Kawashima et al. 1990) wurden als Ursprung diskutiert. Sodre et al. (1990) wiesen eine vaskuläre Dysgenese nach, die ihrer Meinung nach den Grund für die Deformität darstellen könnte.

Heute wird in Bezug auf mögliche Faktoren zur Klumpfußentstehung häufig zwischen exogenen und endogenen Einflüssen unterschieden.

2.2.1. Endogene Einflüsse

Genetische Faktoren

Eine familiäre Häufung legt eine mögliche Vererbung des Klumpfußes nahe. Das Risiko einer Klumpfüßerkrankung bei eineiigen Zwillingen liegt, wenn ein Zwilling mit einem Klumpfuß betroffen ist, zwischen 17 % bis 32,5 %, dass auch der andere Zwilling eine Klumpfußdeformität hat. Bei zweieiigen Zwillingen ist das Risiko mit 3 % bis 5 % deutlich niedriger. Eltern eines Kindes mit Klumpfußdeformität müssen mit einer Wahrscheinlichkeit von 3 % davon ausgehen, dass das nächste Kind ebenfalls mit

einen Klumpfuß auf die Welt kommt (Wynne-Davies 1964, Engell et al. 2006). Chapman et al. (2000) gingen von einem singulären dominanten Gen mit einer Penetranz von 33 % und einer Häufigkeit von 0,9 % in Polynesiern aus. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Yang et al. (1987). Auch in der weißen Bevölkerung ließen Untersuchungen auf einen dominanten Gendefekt mit zusätzlichen multifaktoriellen Komponenten schließen (Wang et al. 1988, Rebbeck et al. 1993). Aktuelle Studien zu genetischen Ursachen von Klumpfüßen konnten einen Zusammenhang zwischen einer Deletion auf der chromosomalen Region 2q31-33, der Gene CASP8 und CASP10, auf dem zweiten Chromosom und dem Auftreten einer Klumpfußdeformität zeigen (Heck et al. 2005).

Knöcherne Ursache

Windisch et al. (2007) beschrieben die Deformität der Fußwurzelknochen als die primäre Fehlbildung – mit daraus resultierenden Bänder- und Kapselveränderungen. Sie gingen von einer primären Fehlbildung des Kalkaneus aus, da dessen periostale Ossifikation in der Entwicklung vor der des Talus beginnt (Gardner et al. 1959). Dies deckte sich mit den Ergebnissen von Fritsch et al. (1999). Sie zeigten in einer histologischen Untersuchung von fetalen Klumpfüßen und gesunden Füßen, dass die Abfolge der Ossifikation des Kalkaneus der Klumpfüße gestört ist. Das erste perichondrale Ossifikationszentrum sei nicht lateral, sondern inferior oder sogar medial gelegen.

Muskuläre Dysbalance

Andere Autoren sahen eine muskuläre Dysbalance als ursächlich für die Deformität (Huang et al. 1999). Bensahel et al. (1983) und Howard et al. (1993) sahen den M. tibialis posterior, als den „primären Muskel des Klumpfußes“. Sie beschrieben den M. tibialis posterior als Hauptakteur einer muskulären Dysbalance. Er ziehe das Os naviculare in eine subluxierte Position. Daraus resultiere die Modifikation der Talusachse und die nach medial veränderte Orientierung des Talus.

Kollagen

Histologische Untersuchungen von medialen und lateralen Anteilen der Plantarfaszie von Klumpfüßen zeigten unterschiedliche Zellen. Sie ließen auf Grund von nodulärer Proliferation von fibrösem Gewebe eine Dupuytren-ähnliche Kontraktur der plantaren

Faszie vermuten (Ippolito et al. 1980, Ippolito 1995). Fukuhara et al. (1994) wiesen in histomorphologischen Untersuchungen myofibroblastenähnliche Zellen in den medialen Bandstrukturen nach, die zu einer Bandveränderung und Fibromatose führen.

Neurogene

Dietz et al. (1983) vermuteten eine regionale Wachstumsstörung des medialen Fußes als Grund für die lokale Hypoplasie. Sie führten histologische Untersuchungen von Sehnen des M. tibialis anterior und posterior von Klumpfüßen durch. In der Sehne des M. tibialis posterior wiesen sie weniger Zellvolumen und Zytoplasma als in der Sehne des M. tibialis anterior nach. Dies entspricht dem umgekehrten Verhältnis eines normalen Fußes. Mit der Ausprägtheit des Klumpfußes nahm auch die Differenz des Zellvolumens und Zytoplasmas zu. Dietz et al. (1983) vermuteten eine Störung des neuralen Stimulus als Grundpathogenität mit daraus resultierender muskulärer Fehlbildung.

2.2.2. Exogene Einflüsse

Die lang bestehende Annahme, dass ein erhöhter intrauteriner Druck oder Platzmangel zur Klumpfußbildung führe, ist mittlerweile überholt. Studien über Fruchtwasserleckagen in Verbindung mit dem Auftreten von Klumpfüßen, die diese Vermutung unterstrichen, sind durch unterschiedliche Argumente widerlegt (Turco 1971, Fukuhara et al. 1994, Sundberg et al. 1997, Wilson 1998, Farrell et al. 1999). Die Tatsache, dass Zwillingsschwangerschaften, bei welchen mit einem erhöhten intrauterinen Druck zu rechnen ist, nicht mit einer Häufung von Klumpfußfehlbildungen einhergehen, entkräftet diese Annahme (Wynne-Davies 1964, Engell et al. 2006).

Früh verfasst wurde die These der embryonalen Hemmungsmisbildung. Im Zuge der normalen intrauterinen Entwicklung zeigt der Fuß in der sechsten bis achten Gestationswoche eine Klumpfußhaltung, die sich bis zur 14. Gestationswoche korrigiert (Kawashima et al. 1990). Es wurde angenommen, dass ein Entwicklungsstillstand zwischen der sechsten bis achten Woche zu einem kongenitalen Klumpfuß führen würde. Dieser Entwicklungsstillstand könnte durch industrielle Noxen, Glucocorticoide oder Nahrungsmittel entstehen (Victoria-Diaz et al. 1984). Waisbrod (1973) widerlegte diese Theorie, er konnte in seinen Untersuchungen von Föten keine Pathologien am Talus oder Os naviculare nachweisen, im Gegensatz zu den Untersuchungen bei Klumpfüßen.

Saisonale Häufung

Unterschiedliche Studien zeigten einen signifikanten Unterschied in der jahreszeitlichen Häufung von Neugeborenen mit Klumpfüßen. Überblickend bestehen vermehrt Klumpfußdeformitäten bei Kindern, die von Dezember bis April geboren werden (Pryor et al. 1991, Barker et al. 2002). Geht man von einem primär knöchernen Defekt des Talus aus, wäre die 16. Gestationswoche die kritische Phase, in der sich unter anderem der Talus ausbildet. Für Kinder, die in den Wintermonaten geboren werden, würde dies für einen ungünstigen Einfluss zwischen Juli bis Oktober sprechen. Dies lässt Spekulationen über mögliche Temperatureinflüsse, Nahrungsmitteltoxine oder saisonale Virusinfekte zu. Robertson et al. (1997) wiesen eine erhöhte Klumpfußinzidenz nach, wenn die Konzeption im Juni erfolgt war, eine Geburt also im März zu erwarten wäre. Sie diskutierten eine intrauterine Infektion mit Enteroviren, die in den Sommer- und Herbstmonaten gehäuft auftreten. Zeitlich würde eine solche Infektion in die Entwicklung der knöchernen Strukturen Einfluss nehmen.

In Tierexperimenten mit Meerschweinchen konnte eine Hyperthermie der Mutter zu einer Klumpfußdeformität des Feten führen (Edwards 1971). Auch das vermehrte Auftreten von Klumpfußdeformitäten in wärmeren Ländern könnte ein Indiz für mögliche Temperatureinflüsse sein (Chung et al. 1969, Yang et al. 1987, Grill 1989, Chapman et al. 2000).

Kontrovers dazu fanden weder Loder et al. (2006) noch Wallander et al. (2006) eine saisonale Häufungen für das Auftreten von Klumpfüßen.

Nikotin

Eine Untersuchung von Skelly et al. (2002) wies ein erhöhtes Risiko für das Auftreten eines Klumpfußes nach, wenn die Mütter während der Schwangerschaft rauchten. Mit gesteigertem Rauchverhalten stieg auch das Risiko für einen Klumpfuß beim Kind signifikant.

2.3. Pathoanatomie

Die Komplexität und Hintergründe der Klumpfußanatomie werden schon seit fast 200 Jahren untersucht. Mitunter beschrieb Scarpa schon im Jahre 1818 die Klumpfußdeformität.

2.3.1. Gelenke

Scarpa (1818) sah eine Verdrehung des Os naviculare, des Os cuboideums und des Kalkaneus in sich als Grund für die Dislokation aus dem talaren Gelenkbereichen und daraus resultierende Deformität. Auch heute wird die komplexe Fehlstellung des Talokalkanear-, Talonavicular- und Kalkaneocuboidalgelenks als die grundlegende Pathologie angesehen (Krauspe R. 2006). Irani et al. (1972) wie auch Ippolito (1995) beschrieben zusätzlich die Neigung und Rotation des Kalkaneus unter den Taluskopf. Die Neigung des Talus in Kombination mit dem Abkippen nach medial und der Rotation des Kalkaneus führt zur Varus-Deformität der Ferse. Die Adduktion des Vorfußes entsteht durch Verschiebung des Os naviculare und des Os cuboideum nach medial.

2.3.2. Knochen

Den größten Unterschied der knöchernen Anatomie im Vergleich zum normalen Fuß weist der Talus auf. Er ist deformiert mit einem unterentwickeltem Körper, domförmigen Kopf und langem, dünnem Hals (Irani et al. 1972, Waisbrod 1973, Ippolito 1995). Der Taluskörper zeigt eine abgeflachte superiore Gelenkfläche. Er ist dorsal spitz zulaufend und nach ventral distal abfallend (Bensahel et al. 1983). Hier geht der Taluskörper in einen nach medial und plantar abgewinkelten langen und dünnen Talushals über (Windisch et al. 2007). Der Corpus-Collum-Winkel des Talus beim Klumpfuß liegt zwischen 115° bis 135° , beim normalen Fuß hingegen zwischen 150° bis 160° . In einer dreidimensionalen Computeranalyse zeigt der Taluskörper eines normalen Fußes eine 5° Innenrotation, der Talushals eine Innenrotation von 25° . Beim Klumpfuß wies der Taluskörper eine Auswärtsrotation von 14° und der Talushals eine 45° - Drehung nach innen auf (Herzenberg et al. 1988).

Auch schon Ponseti fand in seinen histologischen Untersuchungen von Föten und Säuglingen einen kleinen flektierten Talus, mit abgeflachter Trochlea (Ponseti 1996).

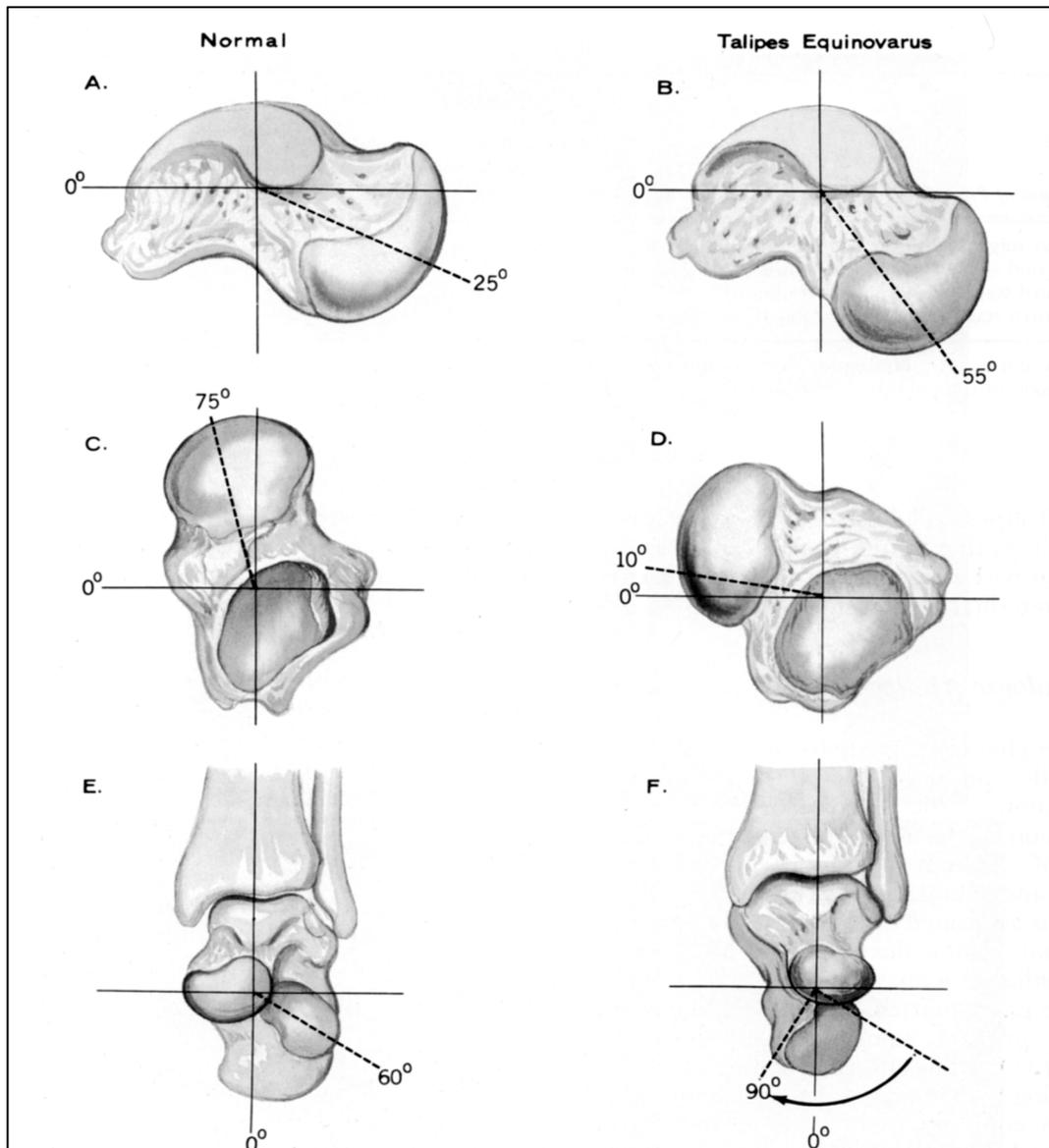


Abb. 2: Skelettale Gegenüberstellung eines normalen Fußes und eines Klumpfußes. A und B zeigen den Talus von medial. B zeigt eine deutliche Neigung des Talus nach plantar. C und D zeigen den Talus betrachtet von distal. Im normalen Fuß ist der Talushals 15° nach medial geneigt, beim Klumpfuß 80° . E und F zeigen die anteriore Gelenkfläche des Kalkaneus und Talus. Im Klumpfuß ist der Kalkaneus unter dem Talus nach medial rotiert. Im normalen Fuß E ist die Gelenkfläche des Kalkaneus zum Os cuboideum deutlich auf der lateralen Seite der Beinlängsachse. Beim Klumpfuß ist diese Gelenkfläche nach medial verlagert (Tachdjian Mihran O. 1972).

Der Kalkaneus zeigt im Vergleich eine geringere Deformität. Er ist meist kleiner als normal, mit geringer ausgebildeter und dysplastischer talarer Gelenkfläche. Das Sustentaculum tali ist schwach ausgebildet. Die talare und anteriore Gelenkfläche sind nach medial gerichtet. Der Kalkaneus zeigt in der computertomographischen Untersuchung – im Vergleich zu einer 5° - Rotation nach außen im normalen Fuß – eine 22° - Drehung nach innen beim Klumpfuß (Herzenberg et al. 1988).

Als weitere Fußknochendeformität ist das Os naviculare keilförmig, wobei die Basis weit medial liegt und abgeflacht ist. Dies wird unter anderem als radiologisches

Merkmal in der Diagnostik verwendet (Ippolito 1995). Das Os metatarsale I kann hypotroph erscheinen, während das Os metatarsale V hypertrophiert und in Bezug auf die weiteren Metatarsalknochen verlängert sein kann.

2.3.3. Muskulatur

Durch die pathologische Gelenkstellung entsteht eine Veränderung der Zugrichtung des M. digitorum longus, M. extensor hallucis longus und M. tibialis anterior. Aufgrund der Inversionsstellung wirkt der M. tibialis anterior als starker Adduktor und vermehrt zusätzlich die Supination. Durch die Verlagerung der Ansatzpunkte des M. digitorum longus und M. extensor hallucis longus wirken auch diese, eigentlich die Pronation unterstützenden Muskeln, supinierend. Histologische Untersuchungen zeigten eine Hypotrophie der Muskelfasern, vorwiegend der Typ-I-Fasern des M. triceps surae und der Mm. peroneii (Isaacs et al. 1977). Magnetresonanztomographische Untersuchungen unterstrichen diese Befunde durch den Nachweis von verminderten Volumina dieser Muskeln (Ippolito et al. 2009). Die pathologische Stellung zu Gunsten der Supination in Kombination mit der Hypotrophie der muskulären Gegenspieler führt zu einer Verstärkung der Fehlstellung.

2.3.4. Weitere Pathologien

Medial zwischen den medialen Anteilen der Trochlea tali und des Malleolus medialis findet sich oftmals ein „fibröser Bindegewebstumor“ (Bensahel et al. 1983, Howard et al. 1993, Döderlein 1999). Dieser kann bis in den Sinus tarsi reichen. Er gilt als distaler Anteil des Lig. deltoideums. Bensahel et al. (1983) und Howard et al. (1993) beschrieben diese weichteilartige Veränderung am medialen Fußrand als die Insertionsstelle des M. tibialis posterior, die hier „bulbös“ erscheint. Windisch et al. (2007) konnten diese Veränderung am Sehnenansatz jedoch nur bei stark ausgeprägten Klumpfüßen (Typ III und IV nach Dimeglio) nachweisen.

Zusätzlich zeigen sich die ventralen und dorsalen Anteile der Syndesmosebänder verdickt, wie auch das Lig. tibionaviculare und Lig. kalkaneonaviculare. Mit zunehmender Inversion und Supination verkürzen sich die medialen Bandstrukturen im Bereich des Kalkaneus, des Os naviculare und des Os cuboideums.

2.4. Therapie

Schon lange sind konservative und operative Behandlungsmethoden für den Klumpfuß bekannt. Die operative Versorgung mittels Sehnenverlängerung und Arthrolysen wurde schon 1937 beschrieben (Brockman 1937). Zu Zeiten als noch kein Behandlungskonzept für die Klumpfußtherapie beschrieben war, wurde oft versucht unter Narkose die Normalstellung des Fußes durch erheblichen Druck herbeizuführen. In der erreichten Stellung wurde der Fuß dann eingegipst. Oft waren Schmerzen und Steifheit das Ergebnis dieser Behandlung. Im Verlauf folgten operative Behandlungen dieser Kinder mit Sehnenverlängerungen, knöchernen Abtragungen bis hin zu Entfernungen des Talus (Kite 1972).

Das operative Vorgehen orientierte sich meist an den vom Chirurgen vermuteten Ursachen der Deformität. Turco (1971) sah als Ursprung die Dislokation des Talokalkaneargelenks, in Form einer Verlagerung des Os naviculare und des Kalkaneus gegenüber dem Talus nach medial. So führte er eine posteromediale Arthrolyse, im Sinne einer „blinden“ Durchtrennung des Lig. talofibulare und Lig. kalkaneofibulare, sowie eine Verlängerung der Achillessehne durch. Anschließend wurde das Talonaviculargelenk und Talokalkaneargelenk mittels Kirschnerdrähten fixiert. Diese Therapie wurde zwischen dem ersten und zweiten Lebensjahr durchgeführt. Danach folgte eine viermonatige Immobilisierung (Turco 1971).

Carroll et al. (1978) sahen den nach außen rotierten Talus als den Ursprung der Rückfußpathologie. Kompensatorisch kam es in ihren Augen zum Druck des Taluskopfes auf den Kalkaneus, der dadurch in die Equinus- und Varusstellung gedrückt wurde. Sie empfahlen die frühzeitige operative Korrektur im Alter von zwei Monaten. Die Korrektur wurde durch eine dorsale Arthrolyse, eine Fixation der M. flexor hallucis longus Sehne an die Achillessehne und eine Kirschnerdraht Fixation des Talonaviculargelenks erreicht (Carroll et al. 1978).

McKay sah die Rotation des subtalaren Komplexes, bestehend aus dem Talokalkanear-, Talonavicular- und Kalkaneocuboidalgelenk, als Ursache für den Klumpfuß. Hierbei sei der Kalkaneus nach medial unter den Taluskopf und anterior zum Sprunggelenk verlagert (McKay 1982). Auch McKay empfahl eine frühe operative Therapie, um den Gelenkknorpel zu schützen und das Wachstum des Talus zu fördern. Sein operatives Verfahren beinhaltete eine Arthrolyse und Fixation des Talonaviculargelenks sowie eine Derotation des Kalkaneus unter den Talus. In

Nachuntersuchungen zeigten sich die chirurgisch versorgten Klumpfüße häufig steif, schmerzhaft und mit eingeschränkter Beweglichkeit.

Kite (1972) sah die enttäuschenden Ergebnisse der chirurgischen Versorgung und begann eine langsamere, sanftere Gipstherapie ohne Druckerwendung und ohne Narkose. Er korrigierte die Klumpfußdeformitäten nacheinander, erst die Adduktion, dann den Fersenvarus und anschließend die Equinusstellung. Seine Therapie dauerte mindestens sechs Monate. Danach war eine Nachtlagerungsschiene in Dorsalextension empfohlen (Kite 1972).

Die Methode nach Imhäuser beinhaltete eine Reposition der Vorfußadduktion und des Fersenvarus durch Gipstherapie. Die Equinuskomponente wurde operativ mittels Z-Plastik der Achillessehne und dorsaler Arthrolyse im vierten Lebensmonat behandelt. Danach folgte ein krankengymnastisches Training der Pronatoren und Dorsalextensoren (Imhäuser 1980). Die Behandlung zeigte, neben einer hohen Rezidivrate, muskuläre Schwäche im behandelten Fuß (Schlegel et al. 2010).

Neben der Therapie nach Ponseti ist eine weiterhin recht häufig angewendete Behandlungsmöglichkeit die „französische Methode“ nach Bensahel (Bensahel et al. 1990). Diese wurde 1972 entwickelt und 1990 erstmals in englischer Sprache veröffentlicht. Dieser physiotherapeutische Ansatz besteht aus täglichen sanften Manipulationen des Fußes beginnend nach Geburt, deren Frequenz mit zunehmenden Alter abnimmt. In einer Phasenabfolge werden zuerst die Subluxation im Talonaviculargelenk und die Vorfußadduktion behandelt. Anschließend wird der Fersenvarus und beginnend die Equinusstellung therapiert. Darauf folgt eine laterale Derotation des Kalkaneus-Vorfuß-Komplexes. Schließlich wird die Equinuskomponente des Rückfußes korrigiert. Zwischen den physiotherapeutischen Beübungen wird eine flexible Schiene angelegt.

2.5. Therapie nach Ponseti

Ignacio Ponseti war ein spanischer Orthopäde, der 1914 geboren wurde. Er lernte an der Universität von Iowa die chirurgische Therapie des Klumpfußes während seiner Ausbildung. In Nachuntersuchungen von operativ versorgten Klumpfüßen fand Ponseti unbefriedigende Ergebnisse mit steifen, schwachen und schmerzhaften Füßen. Durch das Sezieren von totgeborenen Säuglingen mit Klumpfüßen erwarb er Kenntnisse über die Pathologie und Anatomie der Klumpfußdeformität (Ponseti 1996). Basierend auf diesem Wissen entwickelte er in den fünfziger Jahren eine

neue, konservative Methode zur Behandlung des Klumpfußes (Brand 2009). Hierbei handelte es sich um eine Retentionstherapie mittels Gipsverbandbehandlung. Ein großer Unterschied zu den vorher beschriebenen konservativen Therapieformen bestand in der Durchführung der Retention orientierend an einem alternativen Verständnis der Pathologie. Er legte großen Wert darauf, die Fußwurzelknochen-Gelenke als ein Gelenk zu behandeln und somit die Adduktion und Inversion gleichzeitig zu behandeln. Dadurch verhinderte er eine Instabilität im Mittelfuß. Er zeigte die bestehende Eversion des Vorfußes bezogen auf die Ferse bei jedoch bestehender Supination auf. Die Exkavatus-Deformität wurde also durch eine Inversion des Vorfußes behandelt und nicht wie in vorhergehenden Therapien in einem Behandlungsschritt in die Normalstellung. Eine forcierte Eversion des Vorfußes könnte in seinen Augen zu einer Instabilität im Lisfranc-Gelenk führen. Ponseti beschrieb die Notwendigkeit einer Reposition des Kalkaneus nach lateral unter den Talus, wobei der Taluskopf als Druckpunkt genutzt wird. Dadurch erfolgt indirekt die Korrektur des Fersenvarus. Je nach Dorsalextension im oberen Sprunggelenk erfolgte dann eine Achillotomie, um das Auftreten einer „Tintenlöcherfuß-Deformität“ durch forcierte Dorsalextension zu vermeiden (Ponseti et al. 1972). Nach Abschluss der Gipsbehandlung wurde eine Schienentherapie in einer Abduktionsschiene bis zum vierten Lebensjahr durchgeführt (Ponseti 1994). Ponsetis weitestgehend konservative Therapie war sehr gegensätzlich zu der damals weitverbreiteten chirurgischen Therapie des Klumpfußes (Zionts et al. 2012). Im Jahr 1963 veröffentlichte er die ersten Langzeitergebnisse, fünf bis zwölf Jahre nach seiner Behandlung, mit zufriedenstellenden Ergebnissen (Smoley 1963). Auch bei Nachuntersuchungen im steigenden Alter zeigten seine Patienten gute Behandlungsergebnisse (Ponseti et al. 1972, Laaveg et al. 1980). Trotz Ponsetis Beschreibungen und zufriedenstellenden Ergebnissen blieb die operative Behandlung noch viele Jahre, sogar Jahrzehnte, die Standardbehandlung des Klumpfußes (Zwick et al. 2009, Zionts 2015). Mit der Veröffentlichung seines Buches „Congenital Clubfoot: Fundamentals of Treatment“ 1996 (Ponseti 1996) und dem Aufbau einer Homepage für betroffene Eltern (Brand 2009), weckte die Methode nach Ponseti das Interesse der Chirurgen. Mehrere Studien verglichen die Methode nach Kite mit der Methode nach Ponseti. Sie zeigten eine signifikant stärkere Verbesserung in der Beweglichkeit, eine kürzere Behandlungsdauer und weniger Schmerzen für Patienten, die nach der Ponseti Methode therapiert wurden (Sud et al. 2008, Sanghvi et al. 2009, Derzsi et al. 2015). Auch

verglichen zu traditionellen Gipsbehandlungen zeigte die Behandlung nach Ponseti eine bessere Beweglichkeit im Sprunggelenk, signifikant geringere Notwendigkeit einer posterioren Arthrolyse und geringere Behandlungskosten (Herzenberg et al. 2002, Cosma et al. 2007). Im direkten Vergleich mit der ebenfalls konservativen „französischen Methode“, zeigten beide Therapievarianten zufriedenstellende Ergebnisse. Die Therapie nach Ponseti führte jedoch, gerade bei ausgeprägteren Klumpfüßen zu besseren Ergebnissen und forderte weniger und zurückhaltendere operative Korrekturen bei Behandlungsversagen (Richards et al. 2008, Chotel et al. 2011). In einer Umfrage der Mitglieder der „Pediatric Orthopaedic Society of North America“ im Jahr 2010 zeigten Zionts et al. (2012), dass 96,7 % der Befragten mittlerweile nach der Therapie von Ponseti behandelten. Zusätzlich verzeichneten sie einen Rückgang von Patienten die eine ausgeprägte chirurgische Arthrolyse benötigten, von 54 % im Jahr 2001 auf 7 %. Nicht nur in Nordamerika, sondern fast weltweit, gilt die „Ponseti Methode“ mittlerweile als der Standard der Klumpfußbehandlung (Brand 2009).

Igancio Ponseti lehrte seine Methode vielen Medizinern weltweit und behandelte im Alter von 93 Jahren noch selbst Kinder.

“He helped change one aspect of medicine, the treatment of clubfoot, for thousands of patients now – and hundreds of thousands of patients in the future.” Stuart L. Weinstein, MD (ehemaliger Präsident der „American Academy of Orthopaedic Surgeons“) (McKee Dezember 2007).

2.6. Fragestellung

Im Jahr 2006 wurde die Ponseti Therapie zur Klumpfußbehandlung in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie am Universitätsklinikum Homburg eingeführt. Ziel der Arbeit war es, die Ergebnisse im Vergleich zu den Befunden vor Behandlungsbeginn zu evaluieren, Probleme der Therapie aufzuzeigen und die klinischen Ergebnisse den radiologischen Befunden gegenüberzustellen. Ein neuer Ansatz zur Quantifizierung der Compliance während der Schientherapie, die „individuelle Schientragezeit“, wurde entwickelt und verglichen.

3. Patienten und Methodik

Im Jahr 2006 wurde am Universitätsklinikum Homburg die Klumpfußbehandlung auf die Methode nach Ponseti umgestellt. Über das computergesteuerte Patientenverwaltungssystem ISH MED SAP (SAP AG Walldorf, Germany) des Universitätsklinikums Homburg wurden alle Patienten mit der Diagnose Klumpfuß, Pes equinovarus oder Pes equinovarus exkavatus et adduktus oder der ICD10 Q66.0 aus den Jahren 2006 bis 2009 erfasst. Ebenfalls wurden Patienten ermittelt, bei denen im genannten Zeitraum in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes eine operative Achillotenotomie durchgeführt wurde.

3.1 Patienten

In die Studie aufgenommen wurden alle Patienten, die einen primären Klumpfuß hatten, nicht länger als zwei Monate in anderen Kliniken vorbehandelt waren, nicht älter als zwei Monate waren und deren Therapie bis zur Schienentherapie im Universitätsklinikum des Saarlandes durchgeführt wurde. Ausschlusskriterien waren ein sekundärer oder neurogener Klumpfuß, eine Vorbehandlung, die länger als zwei Monate durchgeführt wurde, ein Lebensalter von mehr als zwei Monaten bei Erstvorstellung, eine Vorbehandlung im Sinne einer operativen Versorgung und Patienten deren Therapie nicht bis zum Beginn der Schienenbehandlung in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes durchgeführt wurde.

3.2. Therapie

Die Therapieindikation und Diagnose wurde klinisch anhand der Stellung des Fußes gestellt und es erfolgte die Erfassung und Klassifizierung nach Dimeglio (Dimeglio et al. 1995) und Pirani (Pirani 1995). Die Therapieeinleitung erfolgte in der ersten Lebenswoche. Vier Patienten mit insgesamt sechs Klumpfüßen waren bereits in anderen Häusern vorbehandelt. Bei ihnen wurde die Therapie in der Klinik für Orthopädie in Homburg innerhalb der ersten zwei Lebensmonate begonnen.

Vor Beginn der Therapie wurden am Tag der Erstvorstellung bei 30 Klumpfüßen der Score nach Pirani (Pirani 1995) und der Score nach Dimeglio (Dimeglio et al. 1995)

erhoben, der Score nach Dimeglio wurde bei zwei weiteren Füßen, also insgesamt bei 32 Klumpfüßen erhoben.

3.2.1 Gipsverbände

Nach Anlegen von Polsterbinden erfolgte die Anlage von Softcast® (3M Medica, Neuss, Deutschland). Die Gipsverbände wurden als Oberschenkelgipse in 90° Knieflexion in der Technik nach Ponseti (1994) angelegt. Die Gipse schlossen distal stets so ab, dass die Zehen zur Durchblutungskontrolle sichtbar waren. Durch die Gips-therapie wurden die einzelnen Komponenten der Klumpfußdeformität in mehreren Schritten korrigiert. Der Gipswechsel erfolgte einmal wöchentlich, bis eine Abduktion von 70° erreicht wurde.

Mit den ersten Gipsverbänden wurde die Korrektur des Pes exkavatus angestrebt. Die in der Klumpfußdeformität bestehende Pronation des Vorfußes in Bezug auf den Rückfuß wurde durch Supination des Vorfußes im Gips ausgeglichen (Ponseti 1996). Ziel dieser ersten Korrektur war es, ein normales Längsgewölbe zu erreichen.



Abb. 3: Korrektur des Hohlfußes. Der Vorfuß wird mit dem Zeigefinger des Therapeuten am medialen Fußrand supiniert. Der Mittel- und Ringfinger der gleichen Hand stabilisieren die plantare Fußfläche. Der Daumen der anderen Hand des Therapeuten liegt als Widerlager dem Taluskopf auf



Abb. 4: Erste Gipsverbandanlage des Patienten aus Abb.1. Hiermit wird die Hohlfußkomponente ausgeglichen



Abb. 5: Nach Abnahme des zweiten Gipsverbands ist der Pes excavatus korrigiert.

Nachdem sich nach der Gipsverbandentfernung ein normales Längsgewölbe des Fußes zeigte, wurden im nächsten Gipsverband gleichzeitig die Komponenten des Pes varus und adduktus ausgeglichen. Dazu wurde bei der Castmodellierung der Talus mit dem Daumen der einen Hand fixiert. Der Mittel- und Zeigefinger der zwei-

ten Hand des Therapeuten fassten den Fuß am medialen Fußrand, die anderen Finger an der Fußsohle. Diese unterstützten das nun ausgegradete Längsgewölbe und verhinderten eine Pro- oder Supination auf Höhe des Lisfranc-Gelenks. Bei fixiertem Talus wurde der Fuß nun in Abduktion gebracht. Auf diese Weise wurde die Rotationsbewegung im Talonaviculargelenk unter Fixierung des Längsgewölbes durchgeführt. Dies führte zu einer Bewegung des Os naviculare, des Os cuboideums und des Kalkaneus in Bezug auf den Talus. Durch zunehmende Abduktion des Fußes, mit Drehpunkt im Subtalargelenk, wurde die Varus-Komponente im Rückfuß und Adduktion korrigiert. Auch für diesen Korrekturschritt waren meist mehrere Gipsverbände nötig, die erneut im Wochenrhythmus gewechselt wurden.



Abb. 6: Bei, durch den linken Zeigefinger stabilisiertem Längsgewölbe, wird eine Abduktion unterhalb des Talus, der mit dem rechten Daumen am Taluskopf fixiert wird, herbeigeführt.

Nachdem die Kavus-, Adduktus- und Varus-Komponenten des Klumpfußes korrigiert waren, wurde nach Cast Abnahme klinisch die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk bei vollständiger Extension im Knie klinisch gemessen. Eine Dorsalextension von 15° ist Voraussetzung für das natürliche Abrollen beim Gehen. Betrug die passive Dorsalextension weniger 15° , wurde die Indiktion zur operativen Achilloteno- tomie gestellt. Unmittelbar nach der Achilloteno- tomie erfolgte eine weitere Cast An- lage für insgesamt vier Wochen. Wurde eine Dorsalextension größer 15° erreicht, erfolgte die Anlage der Abduktionsorthese nach Ponseti.



Abb. 7: Fünfter Redressionsgips zum Ausgleich der Adduktus- und Varus-Komponente der Klumpfüße.



Abb. 8: Nach Korrektur der Kavus-, Adduktus- und Varus-Komponente liegt ein deutlicher Spitzfuß vor.

3.2.2 Achillotenotomie

Bei 39 von 42 Klumpfüßen erfolgte bei klinischer Notwendigkeit die Achillotenotomie. Die Achillotenotomie wurde in Analgosedierung unter sterilen Bedingungen durchgeführt. Die Säuglinge wurden in Bauchlage, der Fuß über eine Rolle unter dem Fußrücken in die bis dato möglichen Dorsalextension, gelagert. Medial der getasteten

Achillessehne wurde ein circa 1,5 cm langer Hautschnitt parallel des Sehnenverlaufs gesetzt. Die Sehne wurde durch stumpfe Präparation dargestellt. Nachdem eine gebogene Klemme untergelegt wurde, erfolgte unter Sicht die Durchtrennung der Sehne mit dem Skalpell quer zum Sehnenverlauf.



Abb. 9: Nach Präparation liegt die Achillessehne der Klemme auf. Die Tenotomie kann unter Sicht erfolgen.



Abb. 10: Die Achillessehne wurde durchtrennt. Der distale Sehnenanteil ist im distalen Wundbereich zu sehen.

Nach Durchtrennung der Sehne wurde der Fuß noch unter Analgosedierung mobilisiert und klinisch das gewonnene Bewegungsausmaß der Dorsalextension des

Fußes geprüft. Anschließend erfolgte der Hautverschluss mittels einer resorbierbaren Intrakutannaht und die sterile Wundverbandanlage mittels Steri-Strips® und Kompresse.

Nach erfolgreicher Achillotenotomie erfolgte noch in Sedierung erneut die Anlage eines Oberschenkelredressionsgipsverbands in 70° Abduktion und Dorsalextension von circa 10° für vier Wochen unter wöchentlicher Gipskontrolle. Nach Entfernung dieses Gipsverbands wurde die Alfa-Flex®-Schiene (Sameda e. K.®, Stoetze, Deutschland) angepasst.

3.2.3 Schienentherapie

Vier Wochen nach Achillotenotomie, beziehungsweise nach Korrektur des Fußes bei Kindern ohne Tenotomie, wurde die Schienentherapie mit einer Ponseti-Schiene vom Typ Alfa-Flex® (Sameda e. K.®, Stoetze, Deutschland) eingeleitet. Der Abstand zwischen den Schuhen auf der Schiene wurde auf Schulterbreite des Kindes eingestellt. Bei beidseitigen Klumpfüßen wurde eine Abduktionseinstellung von 60° beidseits angestrebt. Bei einseitigem Klumpfuß sollte der betroffene Fuß durch die Schiene 60°, der gesunde Fuß 30° abduziert sein. In Fällen mit besonders steifen Füßen wurde von der regulären Gradzahl abgewichen. Hier wurde die Schieneneinstellung mit geringerer Abduktion begonnen und im Verlauf gesteigert.



Abb. 11: Alfa-Flex®-Schiene (Sameda e. K.®, Stoetze, Deutschland) nach Ponseti.

Bei drei Kindern wurde auf Grund von starken Druckstellen an den Füßen mit den Schuhen der Alfa-Flex®-Schiene (Sameda e. K.®, Stoetze, Deutschland) auf die Therapie mittels AFO-Schiene® (C-prodirect, Kent, Großbritannien) gewechselt.

Die Schiene sollte in den ersten drei Monaten für 23 bis 24 Stunden am Tag getragen werden. Dies wird im Verlauf als die „Phase I“ der Schientragezeit benannt. Die Eltern wurden über die dringende Notwendigkeit der Schienenbehandlung kontinuierlich bei den Vorstellungen zur klinischen Kontrolle aufgeklärt. Lediglich zum Baden, An- und Umkleiden oder Wickeln durfte die Schiene kurzzeitig abgelegt werden. Nach drei Monaten folgte die nächste Phase der Schienenbehandlung. Hier sollte die Schiene während der Schlafenszeiten getragen werden („night and nap time“). Dies wird im Weiteren als „Phase II“ der Schientragezeit bezeichnet. Die Schienenbehandlung war bis zum vierten Lebensjahr vorgesehen.



Abb. 12: Die AFO-Schiene® (C-prodirect, Kent, Großbritannien) nach Ponseti.

Während der Schienenbehandlung wurden die Kinder je nach Schweregrad und Verlauf im drei bis neun monatlichen Abstand in der Kindersprechstunde vorgestellt, um eventuell aufgetretenen Problemen oder einer Verschlechterung der Stellung des Fußes frühzeitig entgegenzuwirken. Zwischenzeitlich wurden bei Auswachsen aus der Schuhgröße neue Schuhe für die Schiene rezeptiert.



Abb. 13: Gleicher Patient, der vorhergehenden Bilder der Gipstherapie, nach Ponseti Therapie im Alter von vier Jahren.

3.2.4. Compliance-Analyse bezogen auf Thacker et al. (2005)

Zum Vergleich der Ergebnisse der Schienenbehandlung wurde die Compliance anhand der von Thacker et al. (2005) beschriebenen Kriterien bestimmt. Als compliant wurden Kinder bewertet, die alle der folgenden Kriterien erfüllten: tägliche Schienentragezeit über 20 Stunden in Phase I, tägliche Schienentragezeit über acht Stunden in Phase II, vollständige Durchführung der Schienenbehandlung in Phase I und mindestens neun Monate in Phase II. Sehr ähnliche Kriterien zur Erfüllung der Compliance verlangten auch Haft et al. (2007), Bor et al. (2009) und Panjavi et al. (2012).

3.2.5. Individuelle Schienentragezeit

Für jeden Klumpfuß wurde die empfohlene Schienentragezeit in Stunden von Beginn der Schienenbehandlung bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung berechnet. In Phase I wurde ein „Soll-Wert“ von 23 Stunden, in Phase II ein „Soll-Wert“ von acht Stunden (Thacker et al. 2005) täglicher Schienentragezeit zu Grunde gelegt. Hieraus ergaben sich Sollwerte (Gesamttragezeit in Stunden) für jeden Fuß, die der Behandlungsdauer, bezogen auf das aktuelle Lebensalter des Kindes, Rechnung tragen.

Im nächsten Schritt erfolgte die Berechnung der „tatsächlichen“ Tragezeit in Stunden. Hierzu wurden die Angaben der Eltern, über die Anzahl der Stunden in denen die Schiene in Phase I und II täglich getragen wurde, herangezogen. Zusätzlich wurde

berücksichtigt, in welchem Lebensmonat die Schienentherapie abgebrochen oder beendet wurde. Die sich daraus ergebenden Stundenzahlen dienten als „Ist-Wert“ für die weiteren Berechnungen.

Zur statistischen Auswertung wurde der individuelle prozentuale Anteil der Schienentragezeit in der Phase I und Phase II sowie der gesamten Zeit der Schienenbehandlung berechnet. Die Zeit in der die Schiene tatsächlich getragen wurde dividiert durch die empfohlene Tragezeit, wird im Folgenden „individuelle Schienentragezeit“ bezeichnet und als Prozentwert angegeben.

Formel 1: Berechnung der "individuellen Schienentragezeit"

$$\frac{\text{Ist I (d)} * \text{Ist I (h)} + \text{Ist II (d)} * \text{Ist II (h)}}{\text{Soll I (d)} * \text{Soll I (h)} + \text{Soll II (d)} * \text{Soll II (h)}} = \text{individuelle Schienentragezeit [\%]}$$

- Ist = Angaben der Eltern („Ist-Wert“)
- Soll = Empfohlene Angaben des Therapeuten („Soll-Wert“)
- I (d) = Dauer der Schienentherapie während der Phase I [Tage]
- I (h) = Tägliche Tragezeit der Schiene in Phase I [Stunden pro Tag]
- II (d) = Dauer der Schienentherapie während der Phase II [Tage]
- II (h) = Tägliche Tragezeit der Schiene in Phase II [Stunden pro Tag]

3.3. Nachuntersuchung

Die Eltern wurden postalisch und telefonisch kontaktiert, um einen Nachuntersuchungstermin für die Patienten zu vereinbaren. Die Nachuntersuchung fand in den, für das Kind gewohnten, Räumen der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes statt.

Zunächst wurden die Eltern von einem bisher nicht an der Behandlung beteiligten Untersucher zur Therapie anhand des Fragebogens des Studienprotokolls befragt. (siehe Studienprotokoll Abb.37/38). Die Fragen bezogen sich auf die Durchführung und Probleme die während der Behandlung auftraten. Die tatsächliche Schienentragezeit in den jeweiligen Phasen wurde erfragt und dokumentiert. Im gleichen Gespräch wurden Schwierigkeiten, die mit der Gips- und Schienenbehandlung auftraten, ermittelt.

Anhand der Krankenakten und Einträge im Patientenverwaltungssystem ISH MED SAP (SAP AG Walldorf, Germany) wurde der Zeitpunkt der Erstvorstellung, Anzahl der Gipse, Dauer der Gipsbehandlung und der Zeitpunkt der Achillototenotomie ermittelt. Diese Angaben wurden mit den Aussagen der Eltern abgeglichen. Die klinis

che Untersuchung erfolgte im Beisein der Eltern oder eines Elternteils. Mittels eines Goniometers wurde die maximale Dorsalextension und Plantarflexion bei Knieextension sowie die Supination und Pronation des Fußes bei Knieflexion klinisch ermittelt. Es wurde ein Augenmerk auf die Vorfußadduktion und die subtalare Rotation gelegt und diese, falls vorhanden, in ihrer Flexibilität beurteilt. Spielerisch wurden die Kinder zum Zehen- und Hackengang animiert. Bei frei stehendem Kind wurde durch den Untersucher der Fersenvarus- oder valgus beurteilt. Des Weiteren wurden die unten beschriebenen Scores erhoben.

3.3.1 Scores

3.3.2. Score nach Pirani (Abb. 39)

Der Pirani Score (Pirani 1995) bezieht sich bei der Erhebung ausschließlich auf das Aussehen des Fußes und auf tastbare Knochenstrukturen des Mittel- und Rückfußes. Der Fuß wird in Bezug auf sechs Aspekte beurteilt. Pro Aspekt werden null oder 0,5 oder ein Punkt vergeben. Null Punkte entsprechen einem normalen Fuß. Ein moderater bis abnormaler Fuß wird mit 0,5 Punkten bewertet. Ein Punkt wird als schwer abnormal erachtet. Zur Erleichterung für den Untersucher und zur besseren Objektivierung sind bei jedem Aspekt drei Bilder mit der jeweiligen Punktzahl zum Vergleich abgebildet. Im Bezug auf den Mittelfuß fließen die Biegung des Fußaußenrands, die mediale Hautfalte und die talare Überdachung in die Score-Bewertung ein. Beim Rückfuß werden die hintere Falte, der rigide Spitzfuß und die tastbare „leere“ Ferse beurteilt. Insgesamt können null bis sechs Punkte vergeben werden, dabei beschreibt ein höherer Punktwert eine ausgeprägtere Klumpfußdeformität.

3.3.3. Score nach Dimeglio (Abb. 40/41)

Das Bewertungssystem nach Dimeglio et al. (1995) beinhaltet sowohl die passive Redressierbarkeit, als auch das Erscheinungsbild des Fußes. Es werden bis zu 20 Punkte vergeben, dabei entspricht eine hohe Punktezahl einer ausgeprägten Klumpfußdeformität. Nach Vergabe der einzelnen Punkte fasst Dimeglio die Klumpfüße in vier Gruppen zusammen: Typ I, „soft-soft“, ist mit null bis fünf Punkten eine milde Form des Klumpfußes, die nach Dimeglio et al. (1995) nicht in statistische Auswertungen aufgenommen werden sollten, da diese die Ergebnisse zu stark verbessern. Fünf bis zehn Punkte entsprechen dem Typ II, „soft-stiff“, in denen der bewegliche

Eindruck des Fußes dem rigiden, steifen überwiegt. Der Typ III, als „stiff-soft“ Typ bezeichnet, entspricht zehn bis 15 Punkten, dabei ist der steife Anteil dominierend. Bei 15 bis zur Maximalpunktzahl von 20 werden die Füße Typ IV, „stiff-stiff“ genannt. Dies entspricht einem sehr steifen und unbiegsamen Fuß. Da durch diese Einteilung Füße mit fünf, zehn oder fünfzehn Punkten statistisch in zwei Gruppen einfließen würden, erfolgte die klinische Auswertung mit null bis fünf Punkten als „soft-soft“, sechs bis zehn Punkten als „soft-stiff“, elf bis 15 Punkte als „stiff-soft“ und 16 bis 20 Punkte als „stiff-stiff“.

Es erfolgt eine genaue Dokumentation in Gradzahlen der Adduktions-, Varus- und Equinuskomponente des Fußes, sowie der Derotation des Fersenbeins in der jeweils möglichen Redressionsstellung. Abgesteckte Winkelbereiche werden dadurch in ein Punktesystem überführt (90° bis $45^\circ = 4$ Punkte, 44° bis $20^\circ = 3$ Punkte, 19° bis $0^\circ = 2$ Punkte, -1° bis $-20^\circ = 1$ Punkt, $< -21^\circ = 0$ Punkte). Grundsätzlich führt eine starke Deformität in der jeweiligen Ebene zu hohen Gradzahlbereichen und ergibt somit eine hohe Punktzahl.

Zusätzlich werden vier äußere Erscheinungen des Klumpfußes erfasst. Die posteriore und plantare Hautfalte ergeben, falls vorhanden, einen Punkt. Bei bestehendem Pes exkavatus und betroffener Muskulatur wird ebenfalls je ein Punkt vergeben.

Maximal können in jeder der vier betrachteten Fehlstellungskomponenten vier Punkte erreicht werden. Somit werden 16 Punkte im Bereich der Fehlstellungskomponenten vergeben. Äußere Erscheinungskriterien werden mit einer Punktzahl von maximal vier Punkten bewertet. Im Score nach Dimeglio wird eine starke Gewichtung auf die redressierte Fußstellung gelegt, 80 % der erreichbaren Punkte. Äußere Erscheinungskriterien sind ein kleinerer Teilaspekt, 20 % der erreichbaren Punkte.

3.3.4. Score nach Laaveg und Ponseti (Abb. 42)

Der Score nach Laaveg und Ponseti (Laaveg et al. 1980) wird insbesondere für die Nachuntersuchung herangezogen. Er bezieht sowohl die klinische Untersuchung als auch die subjektive Einschätzung des Patienten für das bisher erreichte Ergebnis mit ein. Insgesamt können 100 Punkte erreicht werden. Für ein „exzellentes Ergebnis“ sprechen 90 bis 100 Punkte. Ein „gutes“ Ergebnis besteht bei 80 bis 89 Punkten, ein „zufriedenstellendes“ ist zwischen 70 und 79 erreicht. Jedes Punktergebnis unter 70 spricht für ein „mangelhaftes“ Ergebnis.

Eine Befragung des Patienten beziehungsweise der Eltern über das subjektive Empfinden und Tätigkeiten wird mit insgesamt 70 Punkten bewertet. Hierbei nimmt die Schmerzwahrnehmung im Fuß, bei unterschiedlich stark beanspruchenden Tätigkeiten, den größten Einfluss mit maximal 30 erreichbaren Punkten ein. Die Einschränkung bei verschiedenen anstrengenden Tätigkeiten und die Zufriedenheit des Patienten gehen mit je 20 Punkten in die Wertung ein.

In der klinischen Untersuchung werden 30 Punkte vergeben. Es werden drei verschiedene Gesichtspunkte betrachtet: Erstens wird die Position der Ferse beim stehenden Kind beurteilt: Hierbei wird am positivsten ein nicht nachweisbarem Fersenvarus oder schwach ausgeprägtem Fersenvalgus beurteilt. Zweites Untersuchungskriterium ist die passive Beweglichkeit des Fußes. Hier werden Dorsalextension, Varus-Valgus-Bewegung in der Ferse und anteriore Inversion-Eversions-Bewegung des Fußes bewertet. Dritter Aspekt der klinischen Untersuchung des Scores ist die Bewertung des Gangs und die Möglichkeit zum Zehen- und Hackengang.

Im Score nach Laaveg und Ponseti wird die subjektive Einschätzung mit 70 % der erreichbaren Punkte deutlich stärker gewichtet als das klinische Untersuchungsergebnis, das mit 30 % in die Bewertung einfließt.

Aufgrund des geringen Alters der Patienten war meist eine Fremdanamnese durch die Eltern notwendig.

3.3.5. Score nach Atar (Abb. 43)

Im Score nach Atar et al. (1992) fließen die klinische Untersuchung, die subjektiven Beschwerden des Patienten, wie auch radiologische Untersuchungen ein. Insgesamt können 100 Punkte erreicht werden. Das Endresultat wird bei einer Punktzahl von 85 bis 100 als „exzellent“, bei 70 bis 84 als „gut“, bei 60 bis 69 als „ausreichend“ und unterhalb von 60 Punkten als „mangelhaft“ eingestuft.

In der klinischen Untersuchung werden die passive Dorsalextension und die generelle Funktionsfähigkeit des Fußes mit je bis zu 15 Punkten am stärksten gewichtet.

Der Fersenstand, der Gang, Schmerzen, die Bewegung im Subtalargelenk und die Vorfußstellung sind gleichermaßen mit bis zu zehn erreichbaren Punkten in der Bewertung vertreten. Ein Fersenvalgus bis 5° wird positiv mit zehn Punkten bewertet. Bei bestehendem Varus der Ferse erfolgt keine Punktvergabe. Die passive Beweglichkeit im Subtalargelenk wird bei über 15° mit zehn Punkten bewertet. Erscheint der

Vorfuß in einer Neutralstellung, werden zehn Punkte addiert. Besteht eine Ab- oder Adduktion kleiner oder gleich 5° werden weniger Punkte erreicht.

Die Bewertung der Funktion der Flexorsehnen und der Schuhaspekt sind von geringerer Bedeutung. Hierfür werden je bis zu fünf Punkte vergeben. Des Weiteren wird der Patient hinsichtlich der Schmerzen befragt. Hierbei können zehn Punkte erreicht werden.

Im lateralen und antero-posterioren Röntgenbild werden der talokalkaneare und Talus-Metatarsale-I-Winkel bestimmt. Die Gradzahlen aus dem lateralen und antero-posterioren Bild des talokalkanearen Winkels werden addiert, es können bis zu fünf Punkten erreicht werden. Ein Talus-Metatarsale-I-Winkel unter oder gleich 10° wird positiv mit fünf Punkten bewertet.

Im Score nach Atar wird der größte Punkteanteil, entsprechend 60 % der Gesamtpunktzahl, für Aspekte der klinischen Untersuchung vergeben. Die subjektive Einschätzung des Patienten wird durch drei Gesichtspunkte erfragt und fließt mit insgesamt 30 % in den Score ein. Die radiologische Untersuchung macht mit 10 % den kleinsten Anteil aus.

3.3.6. Score nach McKay (Abb. 44)

Der Score nach McKay (1983) geht von einem gesunden Fuß, der mit 180 Punkten bewertet wird, aus. Durch verschiedene Aspekte der klinischen Untersuchung und subjektiven Einschätzung des Fußes werden Punkte von dieser maximalen Punktzahl abgezogen.

Ein „exzellentes“ Ergebnis besteht bei einer Gesamtpunktzahl von 175 bis 180, ein „gutes“ bei 160 bis 174, ein „befriedigendes“ bei 125 bis 159 und ein „mangelhaftes“ bei 90 bis 124 Punkten. Bei einem Wert unter 90 Punkten sieht McKay die Behandlung als „erfolglos“ an.

Subjektive Komponenten wie Schmerzen und Sportfähigkeit können zu einem Abzug von bis zu 65 Punkten führen. Schmerzen werden im Hinblick auf Beschwerden im Sprunggelenk und Beschwerden distal des Talus separat beurteilt. Ist kein Leistungssport aufgrund des Fußes möglich, werden 15 Punkte abgezogen. Da aufgrund des Alters bei den nachuntersuchten Kindern Leistungssport noch nicht zu erwarten war, wurde dieser Aspekt in „größtmögliche sportliche Anstrengung“ umformuliert.

Die klinische Untersuchung wird mit maximal 115 Punkten bewertet. Der Gelenkbewegung kommt die größte Bedeutung innerhalb des Scores zu mit bis zu 30 Punkten

Abzug. Anhand einer Tabelle ist die abzuziehende Punktzahl für die Dorsalextension und Plantarflexion abzulesen. Des Weiteren geht der Winkel zwischen der Bimalleolarachse zur Longitudinalebene des Fußes mit in die Bewertung ein. Ein Winkel zwischen 83° und 90° wird als normwertig erachtet und führt nicht zu einem Punktabzug, bei kleineren Winkeln kommt es zum Punktabzug. Gleichstark geht die Kraft des M. triceps surae in die Wertung mit ein. Sie wird anhand der Möglichkeit zum Zehenstand beurteilt. Indirekt wird der Fuß durch den Schuh beurteilt, bis zu 15 Punkte können hier abgezogen werden.

Des Weiteren fließen die Funktion des M. flexor hallucis longus, der Fersenstand und die Vorfußstellung, mit jeweils bis zu zehn Punkten Abzug und somit mit der niedrigsten Gewichtung, in den Score ein. Bei Betrachtung des Fersenstandes führt sowohl ein Valgus größer 10° als auch ein Varus zur Subtraktion von zehn Punkten. Hinsichtlich der Vorfußstellung werden sowohl bei einer deutlichen Ab- oder Adduktion bis zu zehn Punkte abgezogen.

Im Score nach McKay wird das größte Augenmerk, etwa 64 % der Gesamtpunktzahl, auf die Ergebnisse der klinischen Untersuchung gelegt. Halb so viel Gewicht kommt der subjektiven Zufriedenheit des Patienten sowie den anamnestischen Problemen zu.

3.4. Fotografische Fußuntersuchung mittels Podograph

Des Weiteren erfolgte die Anfertigung einer fotografischen Untersuchung der Fußsohle. Hierzu wurde ein Podograph angefertigt. Dieser fünfseitig geschlossene Würfel verfügt über einen zwei Zentimeter starken, durchsichtigen Deckel aus Plexiglas und im Inneren über einen Spiegel, der im Winkel von 45° diagonal verläuft.

Die Kinder wurden barfuß auf die Plexiglasscheibe gestellt. Mit einer Kamera (Canon EOS 1000D, Ohta-ku, Japan) wurde der Fußabdruck, der auf dem Podographen stehenden Kinder, durch den Spiegel abfotografiert. Bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß wurde der gesunde Fuß ebenfalls abfotografiert.

Im Weiteren wird dieser Teil der Arbeit „podographische Messung“ genannt. Durch eine digitale Bildanalyse mit Hilfe des Programms ImageJ 1.43 u ®, (Wayne Rasband, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) wurde der Anteil des belasteten Fußes in Bezug auf die gesamte Fußfläche ermittelt. Hierzu erfolgte die Umrandung der entsprechenden Fußflächen mit einem speziellen Stift auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm (Aspire 1420P, AcerMade, China). Das Pro-

gramm ImageJ lieferte dabei die jeweilige Pixelanzahl der Fläche. Durch einzelne Messungen wurde der belastete Anteil der Fußsohle und der belastete Anteil der einzelnen Zehen wurden umrandet und die Fläche in Pixel ermittelt.



Abb. 14: Podograph aus Holz, Plexiglas und Kristallspiegel.

Die Fläche der einzelnen Zehen, sowie die Fußfläche ohne Zehen wurden separat ausgemessen und anschließend addiert. Die Werte der belasteten Fläche wurde durch die Werte der gesamten Fußfläche dividiert, um den prozentualen Anteil der belasteten Fußfläche in Relation zur Gesamtfußfläche zu erhalten.

Bei einseitigem Klumpfuß wurde der gesunde Fuß ebenfalls vermessen, um Vergleichsergebnisse zu erhalten. Alle Messungen wurden, im Abstand von einer Woche, vom Untersucher dreimal vorgenommen. Die dadurch entstandenen Mittelwerte wurden für die weitere Auswertung verwendet.

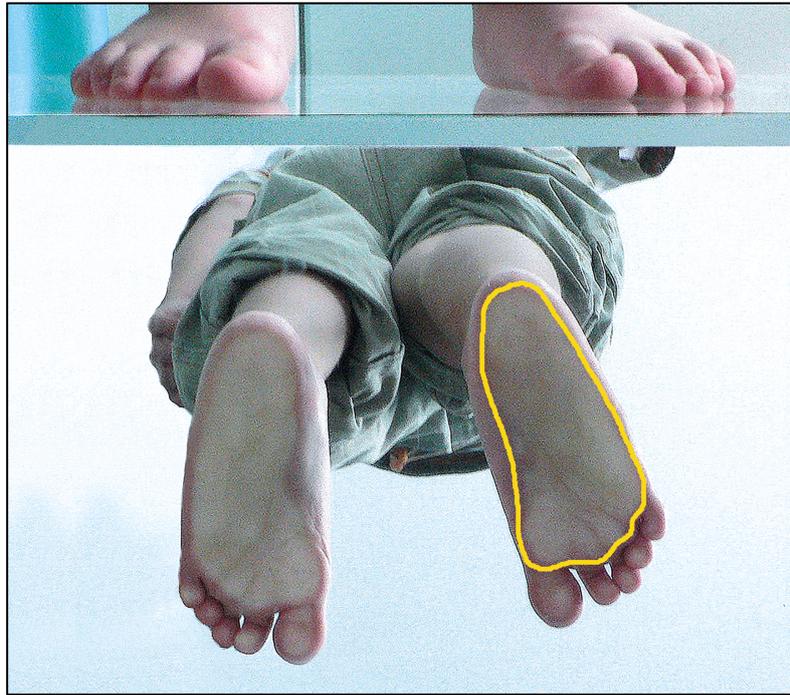


Abb. 15: Fußfotographie mittels Podograph eines Patienten. Links zeigt es einen gesunden Fuß, rechts einen behandelten Klumpfuß. In diesem Bild ist der belastete Anteil der Fußfläche des Klumpfußes, ohne Zehen markiert.

3.5. Röntgenuntersuchung

Die lateralen und antero-posterioren Röntgenuntersuchungen der Füße wurden dem Archiv der Klinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes entnommen. Die Bilder waren während klinischer Vorstellungen standardisiert aufgenommen worden. Die antero-posterioren Aufnahmen erfolgten beim sitzenden Kind bei maximal möglicher Dorsalextension im oberen Sprunggelenk, die Fußsohle auf der Kassette liegend. Dabei wurden die Füße jüngerer Kinder von den Eltern an Ober- oder Unterschenkeln gehalten. Die Röhre wurde um 30° nach vertikal gekippt, auf den Rückfuß zentriert und im antero-posterioren Strahlengang ausgerichtet (Simons 1977). Auch im lateralen Strahlengang erfolgte die Haltung in Dorsalextension im oberen Sprunggelenk, durch Druck auf die Fußsohle mittels eines Brettchens. In der Aufnahme wurde versucht das obere Sprunggelenk möglichst streng seitlich abzubilden. Alle konventionellen Röntgenbilder wurden im gleichen Abstand vom Röntgenschild mit Stativ ab fotografiert (Canon EOS 1000D, Ohta-ku, Japan). Anhand der dabei erstellten jpg-Dateien wurden mit dem Programm ImageJ 1.43 u ® (Wayne Rasband, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) in der lateralen Aufnahme der Talokalkanear-, Tibiokalkanear-,

Tibiotalar- und Talus-Metatarsale-I-Winkel gemessen. Hierzu wurde die Ebene des Kalkaneus parallel zur distalen Unterkante des Knochens bestimmt. Am proximalen und distalen Ende des Talus wurde jeweils der am stärksten bereits verknöcherte Punkt gewählt. Zwischen den proximalen und distalen Anteilen des jeweiligen Endes wurde eine Verbindungslinie gelegt. Die Mittelpunkte dieser beiden Linien stellten die Talus-Ebene dar (Döderlein 1999). Die Ebene zwischen der Tibia und dem Metatarsale-I wurde durch die Längsachse der Knochenkerne bestimmt. Jeder Winkel wurde dreimalig, im Abstand von mindestens einer Woche, durch den Untersucher in das Bild eingezeichnet und gemessen. Der Mittelwert der drei Messungen wurde für die Auswertung herangezogen.

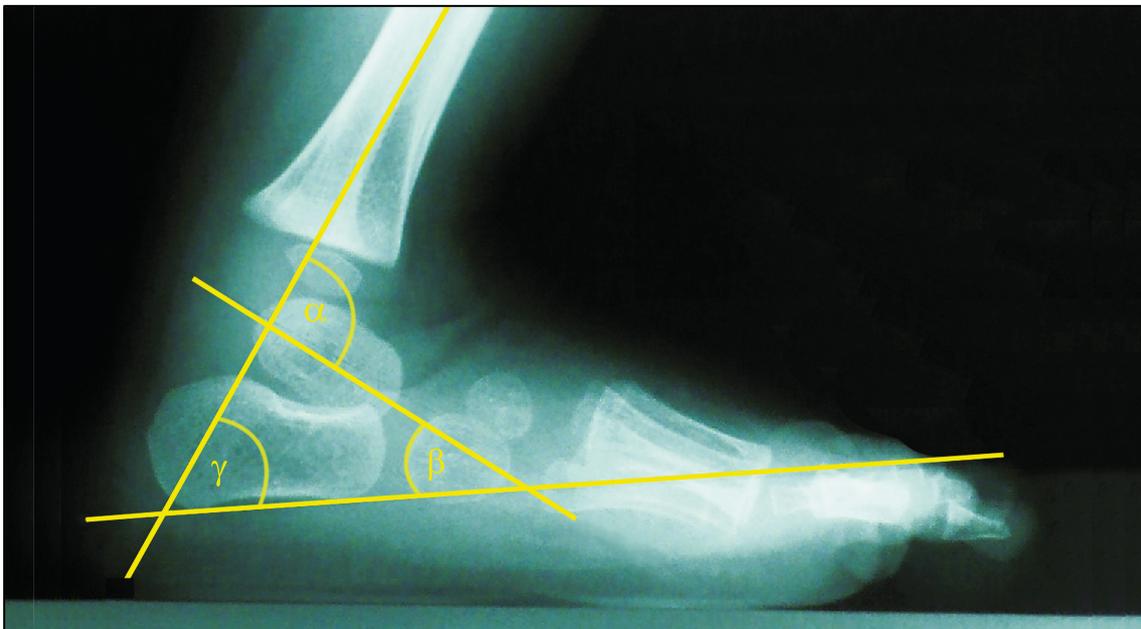


Abb. 16: Laterales Röntgenbild mit gemessenem Winkeln eines 31 Monate alten Jungen (α = Tibiotalarwinkel, β = Talokalkaneuswinkel, γ = Tibiokalkaneuswinkel).

In der antero-posterioren Aufnahme wurden der Talokalkaneus- und Talus-Metatarsale-I-Winkel gemessen. Die Längsachsen des jeweiligen Knochenkerns wurden entsprechend der in der lateralen Aufnahme angewendeten Methode eingezeichnet.

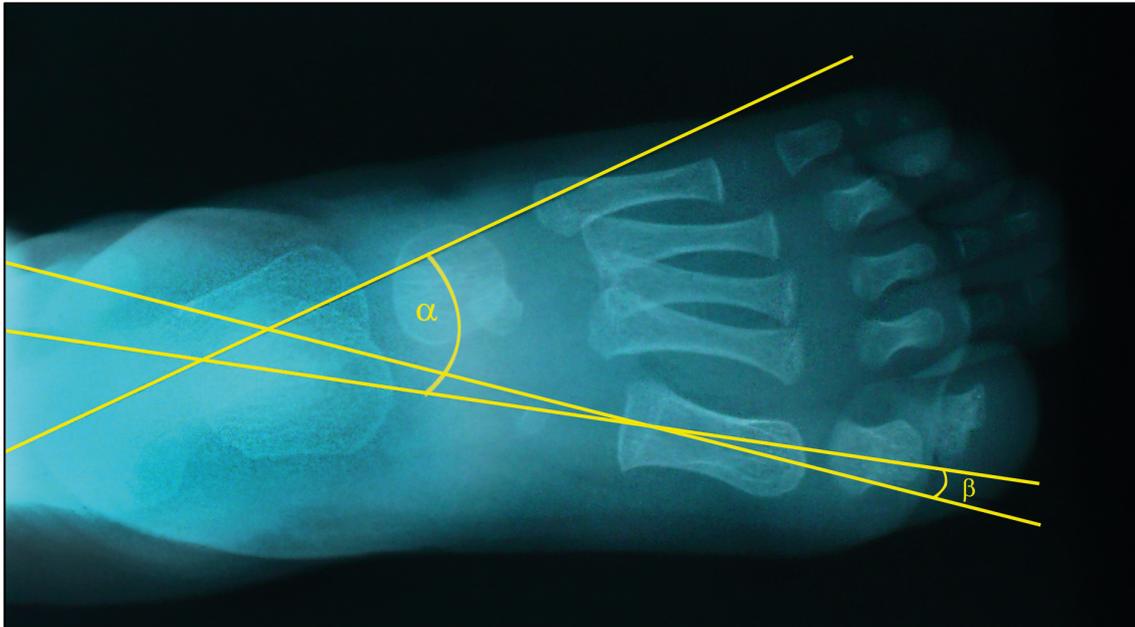


Abb. 17: A.-p. Röntgenbild eines 31 Monate alten Jungen mit eingezeichnetem Talokalkanearewinkel (α) und Talus-Metatarsale-I-Winkel (β).

Der talokalkaneare Index (Simons 1977) wurde als Summe aus dem Talokalkanearewinkel in der lateralen und antero-posterioren Aufnahme für jeden Fuß berechnet.

3.6. Statistische Auswertung

Nach Beratung durch Statistiker des Instituts für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Medizinische Informatik des Universitätsklinikums des Saarlandes erfolgte die Auswertung der Daten mittels SPSS®, Version 20 (IBM, Chicago, Illinois, USA). Alle Werte wurden zunächst mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung geprüft. Da sich nicht für alle Datengruppen eine Normalverteilung nachweisen ließ, wurde um Korrelationen zu ermitteln der Korrelationskoeffizient Spearmans`-Rho ermittelt, der im Weiteren als „r“ angegeben ist.

Die dreifach gemessenen Grund- und Belastungsflächen der aus den Podographenbildern generierten Daten, wie auch die dreifach gemessenen Winkel der Röntgenbilder wurden hinsichtlich der Intrarater-Reliabilität überprüft. Hierzu wurde der Intra-klassenkorrelationskoeffizient der Mehrfachmessungen jeweils paarweise gebildet (Shrout et al. 1979).

Der Unterschied hinsichtlich der Score-Werte zwischen Klumpfüßen mit einem Talokalkanearewinkel größer 25° und Klumpfüßen mit Talokalkanearewinkel kleiner oder gleich 25° im lateralen Röntgenbild (Döderlein 1999) wurde für die Scores nach

Laaveg und Ponseti mittels Mann-Whitney U-Test überprüft. Hierzu wurden die Werte unter 25° als pathognomonisch für einen Klumpfuß bewertet und mit den Scorepunktzahlen verglichen.

Die Unterschiede zwischen Klumpfüßen mit und Klumpfüßen ohne Vorfußadduktion wurden hinsichtlich des Talus-Metatarsale-I-Winkel und des Talokalkanearwinkel in der antero-posterioren Röntgenuntersuchung mittels T-Test für unabhängige Stichproben untersucht.

Die Podographie-Ergebnisse (Anteil der belasteten Fläche) der gesunden Füße und der Klumpfüße wurden mittels T-Test für unabhängige Stichproben auf Unterschiede untersucht.

4. Ergebnisse

4.1. Patienten der Studie

Die Studienkriterien wurden bei 52 Klumpfußbehandlungen, von 34 Patienten, erfüllt. Für vier Patienten, mit insgesamt sechs Klumpfüßen, war es aus geographischen Gründen nicht möglich zur Nachuntersuchung anzureisen. Zwei Patienten, mit insgesamt drei Klumpfüßen, nahmen aus persönlichen Gründen nicht an der Studie teil. Daraus ergibt sich eine Nachuntersuchungsquote von 82,4 % der Patienten ($n = 28$), mit 82,7 % der Klumpfüße ($n = 43$).

Bei den nachuntersuchten Patienten handelt es sich um zehn Mädchen und 18 Jungen. Bei 13 Patienten lag ein beidseitiger Klumpfuß vor. Fünfmal war ausschließlich der rechte, achtmal der linke Fuß betroffen.

Das durchschnittliche Alter bei der Nachuntersuchung betrug 27,67 (\pm SD 10,64) Monate. Der jüngste Patient war 17 Monate, der älteste 48 Monate alt.

Um die Anonymität zu gewährleisten, wurden die Klumpfüße mit Nummern versehen. Die jeweilige Nummer wurde zu Beginn der Auswertung zugeteilt und war für die gesamte Auswertung der Studie gültig. Bei Kindern mit beidseitigen Klumpfüßen wurde jeder Klumpfuß einzeln erfasst. In der unten aufgeführten Tabelle sind alle Füße mit der zugeteilten Nummer, Geschlecht, betroffener Seite und Alter bei der Nachuntersuchung in Monaten aufgeführt.

Tabelle 1: Klumpfüße der Studienteilnehmer nach zugeteilter Nummer (Nr.), Geschlecht, betroffene Seite: R = rechter Fuß, L = linker Fuß, Alter in Wochen bei Erstvorstellung und Alter in Monaten bei der Nachuntersuchung.

Nr.	Geschlecht	Seite	Alter bei Erstvorstellung (Wochen)	Alter bei Nachuntersuchung (Monate)
1	weiblich	R	1	27
2	weiblich	L	1	27
3	weiblich	R	1	20
4	weiblich	L	1	20
5	weiblich	R	1	45
6	weiblich	L	1	45
7	männlich	R	1	19
8	männlich	L	1	19
9	männlich	R	1	22
10	männlich	L	1	22
11	männlich	R	1	18
12	männlich	L	1	18
13	männlich	R	1	46
14	männlich	L	1	46
15	männlich	R	1	20
16	männlich	L	1	20
17	männlich	R	1	18
18	männlich	L	1	18
19	männlich	R	1	24
20	männlich	L	1	24
21	männlich	R	1	31
22	männlich	L	1	31
23	weiblich	R	1	48
24	weiblich	L	1	48
25	weiblich	R	1	19
26	weiblich	L	1	19
27	weiblich	R	1	42
28	männlich	L	1	20
29	männlich	R	1	44
30	männlich	L	1	18
31	männlich	R	1	30
32	weiblich	L	1	31
33	weiblich	R	1	20
34	männlich	R	1	18
35	weiblich	L	1	37
36	männlich	L	1	31
37	weiblich	L	1	23
38	weiblich	R	6	16
39	weiblich	L	6	16
40	männlich	L	7	27
41	männlich	R	7	42
42	männlich	L	7	42
43	männlich	L	6	19

4.2. Analyse der Therapie

4.2.1. Gipsverbandtherapie

Durchschnittlich wurden bis zum Beginn der Schienentherapie sechs Gipsverbände angelegt (Mittelwert $6,37 \pm \text{SD } 2,31$). Die meisten Gipsverbände, insgesamt zwölf, wurden bei den Füßen Nr. 11 und Nr. 12 angelegt.

Bei 39 Füßen (90,7 %) wurde eine Achillotenotomie durchgeführt. Dies geschah nach Anlage von durchschnittlich $5,26 (\pm \text{SD } 1,73)$ Gipsverbänden. Der Fuß Nr. 40 benötigte zwei und damit die geringste Anzahl an Gipsverbänden bis zur Achillotenotomie. Die Füße Nr. 19 und Nr. 20 erhielten mit neun Gipsverbänden die meisten Gipsverbände vor der Operation. Nach der Achillotenotomie wurden im Mittel noch $1,42 (\pm \text{SD } 0,77)$ Gipsverbände angelegt. Die Füße Nr. 11 und Nr. 12 benötigten weitere vier Gipsverbände nach der Operation bis zur Schienentherapie. Diese Füße erhielten im Verlauf aufgrund eines Spitzfuß-Stellungsrezidivs eine Re-Achillotenotomie.

Bei vier Füßen (Nr. 21, Nr. 22, Nr. 28, Nr. 42) wurde keine Achillotenotomie durchgeführt. Diese Füße benötigten zwischen zwei (Nr. 42) und sechs Gipsverbänden (Mittelwert $4,5 \pm \text{SD } 1,92$) bis zum Beginn der Schienentherapie.

Bei zwölf Füßen traten während der Gipsverbandtherapie Probleme auf. Bei acht Füßen und damit am häufigsten, kam es zum Verrutschen des Gipsverbandes, wodurch eine Gipsverbandneuanlage nötig war. Bei sechs dieser Füße kam es zusätzlich zu einer Druckstelle. An drei Füßen zeigte sich nach Gipsabnahme eine Rötung. Bei einem Fuß war der Gips im Verlauf zu eng. Bei keinem der Füße traten durch den Gipsverband Komplikationen auf, die eine Weiterbehandlung verzögerten.

Weder die Anzahl der Gipsverbände bis zur Achillotenotomie noch die gesamte Anzahl der angelegten Gipsverbände bis zur Einleitung der Schienentherapie korrelierte signifikant mit dem Score nach Pirani vor Behandlungsbeginn. Der initial erhobene Score nach Dimeglio korrelierte ebenfalls nicht mit der Anzahl der Gipsverbände bis zur Operation.

Da bei drei von den vier Klumpfüßen, die ohne Achillotenotomie behandelt wurden, kein initialer Score nach Pirani vorlag, wurde auf die statistische Auswertung der prädiktiven Aussage bezüglich der Achillotenotomie-Wahrscheinlichkeit verzichtet.

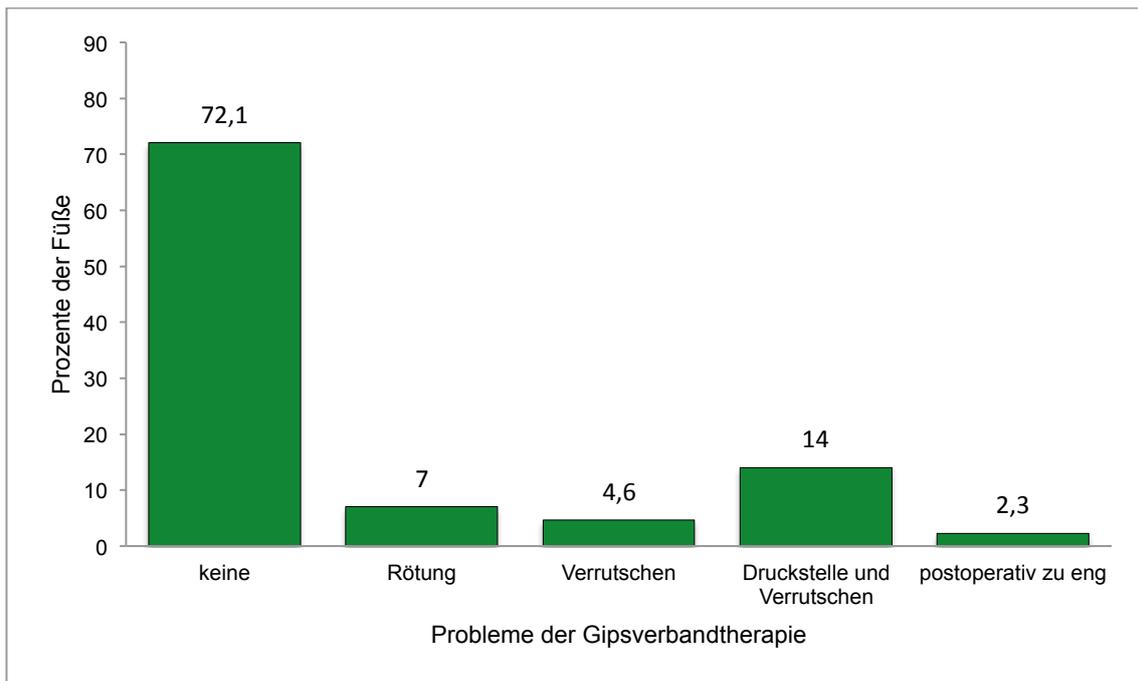


Abb. 18: Das Balkendiagramm zeigt das Auftreten von Problemen während der Gipsverbandbehandlung.

4.2.2. Die Schienentherapie

Bei allen Patienten wurde die Schienentherapie mit der Schiene vom Typ Alfa-Flex®, der Firma Sameda e. K.®, Stoetze, eingeleitet. Bei fünf Füßen wurde der Schienentyp aufgrund von Passproblemen der Schuhe auf die AFO-Schiene®, C-Pro Direct.®, Stoetze, umgestellt. In den ersten drei Monaten – der „Phase I“ der Schienentherapie – waren die Eltern dazu angehalten, den Patienten die Schiene tags wie auch nachts anzulegen. Im Mittel wurde die Schiene in diesem Zeitraum 23,17 Stunden (\pm SD 2,52) getragen. Am wenigsten, zehn Stunden täglich, wurde die Schiene von dem Patient des Fußes Nr. 31 getragen. Bei den anderen Füßen wurde die Schienentherapie täglich zwischen 14 bis 24 Stunden durchgeführt.

In „Phase II“ der Schienentherapie, ab dem vierten Therapiemonat bis zum vierten Lebensjahr, sollte die Schiene während der Schlafenszeiten getragen werden. Bei der Befragung der Eltern ergab sich ein Mittelwert von 10,80 Stunden (\pm SD 2,1) täglich. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung war die Schienentherapie aufgrund des Alters bei den Füßen Nr. 5, Nr. 6, Nr. 23, Nr. 24 bereits beendet. Alle anderen Kinder waren zum Nachuntersuchungszeitpunkt jünger als vier Jahre und waren demnach dazu angehalten die Schiene während den Schlafenszeiten zu tragen. Bei zehn Füßen gaben die Eltern an, dass die Schiene bereits vor Erreichen des vierten Lebensjahres nicht mehr getragen wurde (Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3, Nr. 4, Nr. 29, Nr. 31, Nr. 34, Nr.

35, Nr. 38, Nr. 39). Diese Kinder waren durchschnittlich 10,9 (\pm SD 8,81) Monate alt, als die Schienentherapie abgebrochen wurde.

4.2.3. Compliance-Analyse bezogen auf Thacker et al. (2005)

Ausschließlich die Kinder der Füße Nr. 3, Nr. 4 und Nr. 31 trugen die Schiene in der Phase I weniger als 20 Stunden. Die Füße Nr. 7 und Nr. 8 trugen die Schiene in der Phase II weniger als acht Stunden. Die Kinder von sieben Klumpfüßen beendeten die Schienentherapie bevor die Schiene in der Phase II neun Monate getragen war. Insgesamt erfüllten elf Füße, entsprechend 25,6 %, die genannten Compliance-Kriterien von Thacker et al. nicht und wurden dadurch als non-compliant bewertet. Bei 32 Klumpfüßen (74,4 %) wurde die Schiene ausreichend getragen. Von den Patienten, bei denen eine Umstellung des Schientyps erfolgte, war ein Patient mit einem unilateralen Klumpfuß non-compliant.

Tabelle 2: Vergleich der beiden Gruppen „Compliance“ versus „Non-Compliance“ in der Schienentherapie nach Thacker et al. im Hinblick auf die Score-Ergebnisse mittels Mann-Whitney U-Test. Differenz = Punktedifferenz zwischen Nachuntersuchung und initialen Score-Werten. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$.

	Pirani	Dimeglio	Laaveg & Ponseti	Atar	McKay	Differenz Pirani	Differenz Dimeglio
Compliance Median (Spannweite)	0,0 (0,0-2,0)	3 (1-7)	93 (81-99)	89 (50-100)	160 (85-180)	5,0 (3,0-6,0)	10 (5-13)
Non-Compliance Median (Spannweite)	0,0 (0,0-0,0)	3 (1-5)	95 (82-98)	88 (61-93)	170 (140-170)	4,5 (4,0-5,0)	9,5 (6-14)
Z-Wert	- 1,535	- 0,937	- 0,589	- 1,230	- 0,746	- 0,581	- 0,724
p 2-seitig	0,127	0,349	0,556	0,219	0,456	0,561	0,469

In der a.-p. Röntgenaufnahme lag bei den Kindern, die den Compliance-Kriterien entsprachen, ein signifikant größerer Talokalkanearewinkel von durchschnittlich 30,3° gegenüber 23,6° bei den Kindern, welche die Compliance-Kriterien nicht erfüllten, vor. Die anderen Winkel sowie der talokalkaneare Index unterschieden sich nicht signifikant.

Tabelle 3: Vergleich der Gruppen „Compliance“ versus „Non-Compliance“ in der Schienentherapie nach Thacker et al. im Hinblick auf Winkel gemessen im a.-p. Röntgenbild und des talokalkanearen Index mittels T-Test für unabhängige Stichproben. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$.

	Talokalkaneerwinkel	Talus-Metatarsale-I-Winkel	Talokalkaneerer Index
T-Wert	- 2,096	1,163	- 0,530
Signifikanz 2-seitig	0,044	0,254	0,600

Tabelle 4: Vergleich der beiden Gruppen „Compliance“ versus „Non-Compliance“ in der Schienentherapie nach Thacker et al. im Hinblick auf Winkel gemessen im lateralen Röntgenbild, mittels T-Test für unabhängige Stichproben. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$.

	Talokalkaneerwinkel	Talus-Metatarsale-I-Winkel	Tibiokalkaneerwinkel	Tibiotalarwinkel
T-Wert	1,117	- 1,203	0,085	0,816
Signifikanz 2-seitig	0,271	0,237	0,933	0,420

4.2.4. Individuelle Schienentragezeit

Falls die Schiene in Phase I mehr als 23 Stunden, beziehungsweise in Phase II mehr als acht Stunden getragen wurde, ergaben sich Werte über 100 %.

Ein Kind, das die Schiene in Phase I 23 Stunden trägt, in Phase II acht Stunden trägt und die Schienentherapie mit dem dritten Geburtstag beendet, würde 76,8 % der Gesamtschienentragezeit erreichen. Dies wurde als Mindestprozentzahl festgelegt, um als compliant zu gelten. Nach dieser Berechnung galten sieben Füße (16,2 %) als non-compliant.

Tabelle 5: Darstellung der „individuellen Schienentragezeit“ der Klumpfüße: Anzahl der tatsächlich getragenen Stunden („Ist-Wert“) in Relation zur den erwarteten Stunden („Soll-Wert“) für Phase I, Phase II sowie für die gesamte Schienentherapie (gleichbedeutend der „Individuellen Schienentragezeit“). Alter in Lebensmonaten bei vorzeitigem Abbruch der Schienentherapie. Compliance nach Definition bei Thacker et al. N = Non-Compliance, C = Compliance. Non-Compliance „fett“ geschrieben.

Nr.	Ist/Soll in Phase I	Ist/Soll in Phase II	Individuelle Schie- nentragezeit (%)	Alter bei Abbruch der Schienentherapie	Compliance Thacker
1	100,00	17,05	40,41	6	N
2	100,00	17,05	40,41	6	N
3	104,35	65,00	79,37	16	N
4	104,35	65,00	79,37	16	N
5	104,35	150,00	141,90	-	C
6	104,35	150,00	141,90	-	C
7	104,35	75,00	86,19	-	N
8	104,35	75,00	86,19	-	N
9	100,00	125,00	116,59	-	C
10	100,00	125,00	116,59	-	C
11	86,96	150,00	122,29	-	C
12	86,96	150,00	122,29	-	C
13	104,35	137,50	131,62	-	C
14	104,35	137,50	131,62	-	C
15	104,35	137,50	124,86	-	C
16	104,35	137,50	124,86	-	C
17	104,35	137,50	123,64	-	C
18	104,35	143,75	127,27	-	C
19	97,83	150,00	133,10	-	C
20	97,83	150,00	133,10	-	C
21	102,17	125,00	119,31	-	C
22	102,17	125,00	119,31	-	C
23	100,00	175,00	162,22	-	C
24	100,00	175,00	162,22	-	C
25	104,35	150,00	132,60	-	C
26	104,35	150,00	132,60	-	C
27	104,35	162,50	151,26	-	C
28	104,35	137,50	125,89	-	C
29	104,35	15,79	32,17	9	N
30	104,35	93,75	97,98	-	C
31	43,48	23,08	31,21	6	N
32	100,00	150,00	137,55	-	C
33	100,00	156,25	135,71	-	C
34	104,35	10,42	49,70	5	N
35	104,35	90,32	93,38	33	C
36	102,17	125,00	119,14	-	C
37	100,00	150,00	133,17	-	C
38	104,35	8,33	48,48	6	N
39	104,35	8,33	48,48	6	N
40	104,35	125,00	119,37	-	C
41	104,35	150,00	141,18	-	C
42	104,35	150,00	141,55	-	C
43	104,35	150,00	132,60	-	C

Es liegt ein signifikanter Unterschied ($p = 0,002$; T-Wert = 3,926) der individuellen Schienentragzeit der Kinder, welche die Schienentherapie bereits abgebrochen haben (Mittelwert 72,3 % \pm SD 46,4) im Vergleich zu jenen Kindern, welche die Schiene nach Empfehlung tragen (Mittelwert 125,9 % \pm SD 14,8), vor.

Tabelle 6: Korrelationen nach Spearmans'-Rho „individueller Schienentragzeit“ mit den bei der Nachuntersuchung erhobenen Scores sowie der Punktedifferenz von initialer Untersuchung zu Nachuntersuchung der Scores nach Pirani und Dimeglio. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$.

	Pirani	Dimeglio	Laaveg & Ponseti	Atar	McKay	Differenz Pirani	Differenz Dimeglio
r	0,101	0,016	- 0,078	0,029	- 0,133	0,251	-0,031
Signifikanz 2-seitig	0,422	0,889	0,479	0,792	0,256	0,073	0,815

Tabelle 7: Korrelationen nach Spearmans'-Rho der individuellen Schienentragzeit und den Winkeln im a.-p. Röntgenbild gemessen, sowie dem talokalkanearen Index. Berechnung mittels Regressionsanalyse (Abhängige Variable: jeweiliger Winkel).

	Talokalkanearwinkel	Talus-Metatarsale-I-Winkel	Talokalkanearer Index
r	0,373	0,319	0,303
Signifikanz 2-seitig	0,030	0,190	0,226

Tabelle 8: Zusammenhänge zwischen der „individueller Schienentragzeit“ und Winkeln im lateralen Röntgenbild gemessen. Berechnung mittels Regressionsanalyse (Abhängige Variable: jeweiliger Winkel).

	Talokalkanearwinkel	Talus-Metatarsale-I-Winkel	Tibiokalkanearwinkel	Tibiotalarwinkel
R	0,286	0,217	0,284	0,261
Signifikanz 2-seitig	0,207	0,420	0,229	0,291

4.2.3. Komplikationen mit der Schienentherapie

Eine komplikationslose Therapie mit der Ponseti Schiene wurde bei elf Füßen durchgeführt. Bei 15 Klumpfüßen zeigten sich im Laufe der Behandlung an den Füßen eine Rötung oder Druckstelle. Bei einem Fuß wurde aufgrund einer Blasenbildung ein operativer Eingriff nötig. Während der Schienentherapie fielen die Kindern von elf Klumpfüßen besonders in den ersten Nächten der Schienentherapie mit Einschlafproblemen und vermehrtem Schreien auf. Die Kinder von sieben Klumpfüßen zeigten sowohl eine Rötung am Fuß, wie auch Einschlafprobleme. Die Eltern von drei Kindern mit Klumpfüßen beschrieben, dass die Kinder sich die Schiene an den Kopf schlugen. Des Weiteren kam es bei einem Kind im Verlauf zum eigenständigen Aus-

ziehen der Schuhe. Bei zwei Füßen kam es sowohl zur Rötung als auch zum Herausrutschen aus den Schuhen. Zusammengefasst traten bei 67,6 % aller behandelten Füße Probleme während der Schientherapie auf.

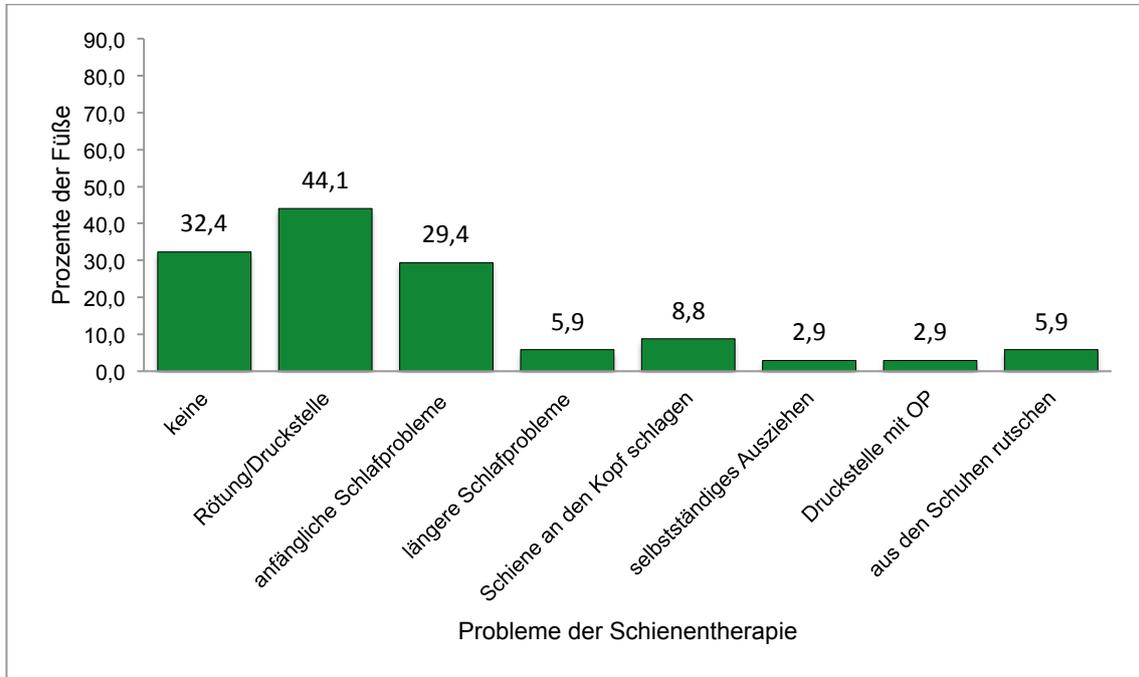


Abb. 19: Das Balkendiagramm zeigt das Auftreten von Problemen während der Schientherapie. Mehrfachnennungen während einer Klumpfußtherapie wurden separat erfasst.

4.3. Klinische Untersuchung

4.3.1. Zehen- und Hackengang

Bei 41 behandelten Klumpfüßen war es den Kindern möglich auf den Zehen zu gehen. Den Kindern mit den Füßen Nr. 17 und Nr. 18 war es nicht möglich auf den Zehen zu stehen oder zu gehen. Aufgrund der geringen Fallzahl ($N = 2$) wurde keine statistische Auswertung hinsichtlich des Altersunterschieds zwischen den Gruppen „Zehengang möglich“ und „Zehengang nicht möglich“ durchgeführt.

Der Hackengang, bei dem nur die Ferse als Auftrittsfläche genutzt werden sollte, war bei elf Füßen möglich. Bei den anderen Kindern, entsprechend 32 Füßen, konnte kein Hackengang durchgeführt werden.

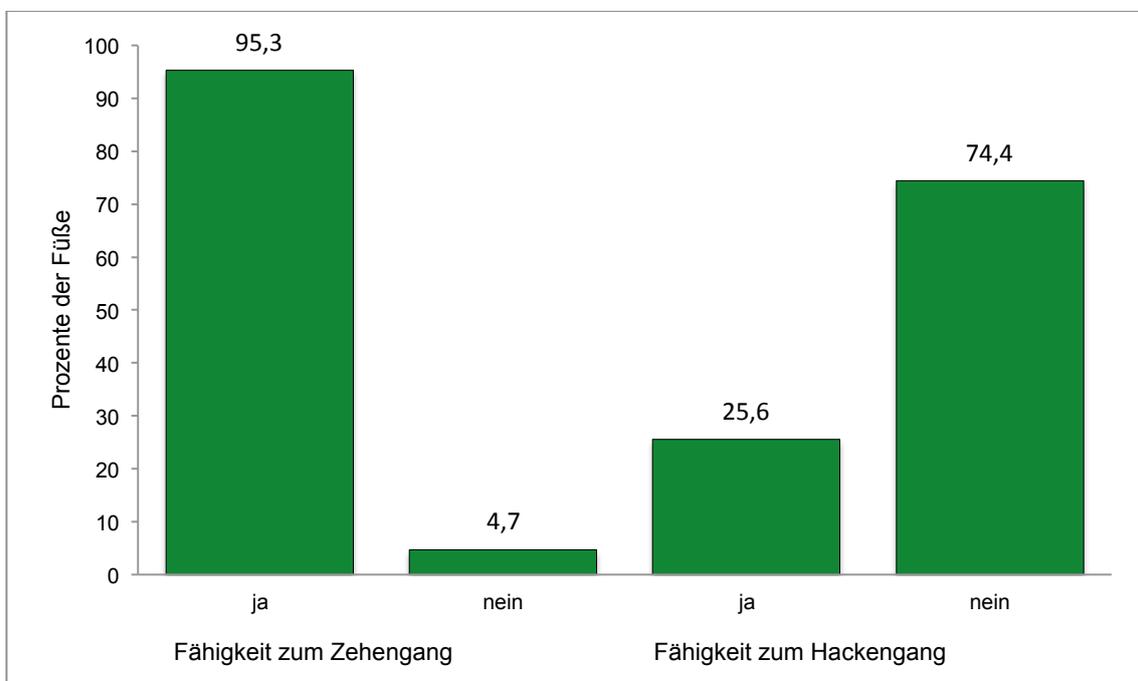


Abb. 20: Anteile der Klumpfüße mit zum Zehengang fähigen Kindern (links) und Hackengang fähigen Kindern (rechts).

Die Fähigkeit zum Hackengang korreliert signifikant ($p < 0,001$; $r = 0,677$) positiv mit dem Alter des Patienten bei der Nachuntersuchung. Bei sich jeweils nicht signifikant unterscheidenden Werten im Score nach Pirani, Dimeglio, Laaveg und Ponseti, Atar und McKay ($p \geq 0,232$) liefert der T-Test für unabhängige Stichproben einen hochsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$) im Alter zum Untersuchungszeitpunkt zwischen den beiden Gruppen „Fähigkeit zum Hackengang ja“ ($N = 11$, Alter Mittelwert 41,8 Monate \pm SD 8,2) und „Fähigkeit zum Hackengang nein“ ($N = 32$, Alter Mittelwert 22,8 Monate \pm SD 6,1).

4.3.2. Beweglichkeit in Dorsalextension und Plantarflexion

Der Mittelwert für die passive Dorsalextension im oberen Sprunggelenk bei Extension im Kniegelenk lag bei $16,74^\circ (\pm \text{SD } 5,44)$. 25 Füße (58 %) erreichten eine Dorsalextension über 20° . Bei keinem Fuß wurde eine Dorsalextension kleiner 10° ermittelt.

Die Füße erreichten im Mittel eine passive Plantarflexion von $37,33^\circ (\pm \text{SD } 7,43^\circ)$. Bei den Füßen Nr. 11, Nr. 12, Nr. 17 und Nr. 18 wurde die geringste Plantarflexion mit 20° erreicht. Insgesamt lag bei elf Füße (25,6 %) eine Plantarflexion kleiner 40° vor.

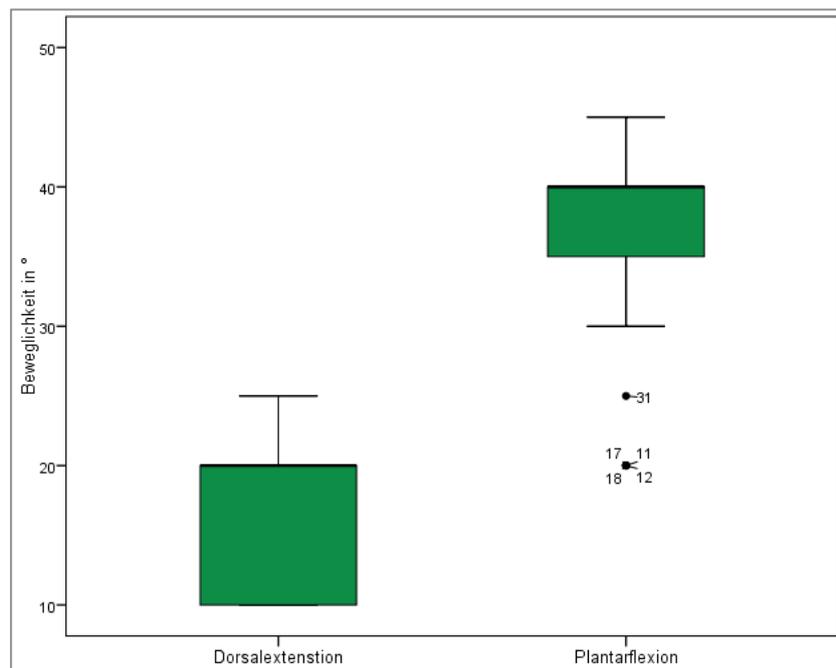


Abb. 21: Box-Whiskers-Plot zur Darstellung der maximalen passiven Beweglichkeit in $[\circ]$ in Dorsalextension und Plantarflexion.

4.3.3. Beweglichkeit in Inversion und Eversion

Die passive Inversion der Füße reichte von 20° bis 45° . Der Mittelwert lag bei $33,72^\circ (\pm \text{SD } 8,67^\circ)$. Sieben Füße erreichten die geringste gemessene passive Inversion von 20° (Nr. 6, Nr. 7, Nr. 11, Nr. 12, Nr. 29, Nr. 32, Nr. 34). Bei acht Füßen wurde eine Inversion von 45° gemessen.

Es wurde eine passive Eversion der Füße von durchschnittlich $27,09^\circ (\pm \text{SD } 9,14^\circ)$ erzielt. Die geringste gemessene passive Eversion von 10° erreichten vier Klumpfüße (Nr. 11, Nr. 12, Nr. 19, Nr. 20).

4.3.4. Vorfußadduktion und Rotation des Subtalargelenks

Eine Vorfußadduktion in Neutral-Null-Stellung des Fußes fand sich bei 13 Füßen (30,2 %), diese war in allen Fällen flexibel und passiv gut redressierbar. Bei 30 Füßen (69,8 %) lag keine Vorfußadduktion vor.

Eine Rotation im Subtalargelenk nach lateral wurde bei zwölf der untersuchten Füße (27,9 %) nachgewiesen. Passiv war diese Rotation durch den Untersucher in allen Fällen flexibel und redressierbar. Bei keinem Fuß fand sich eine steife Rotation im Subtalargelenk. Bei 31 Füßen (72,0 %) war keine Rotation im Subtalargelenk zu verzeichnen.

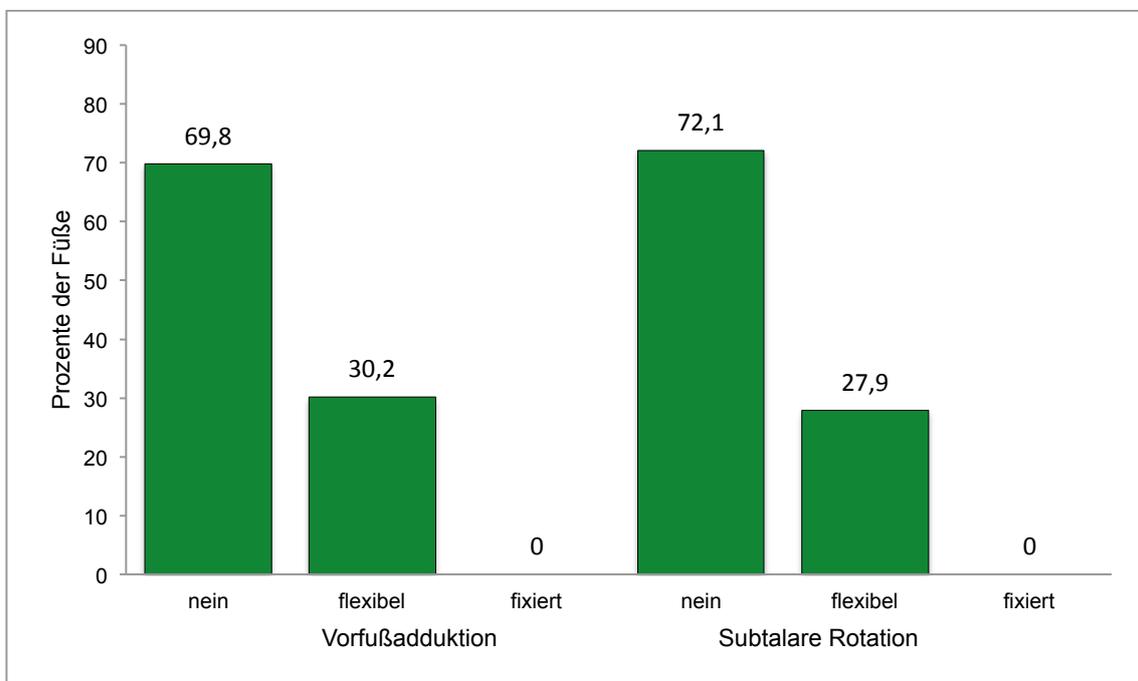


Abb. 22: Prozentualer Anteil der Füße bezogen auf die klinische Vorfußadduktion (links), sowie subtalare Rotation im unteren Sprunggelenk (rechts), in Bezug auf die passive Redressierbarkeit.

4.4. Ergebnisse der Scores

4.4.1. Score nach Pirani

Der Score nach Pirani wurde vor Behandlungsbeginn bei der Erstvorstellung der Neugeborenen und bei der Nachuntersuchung erhoben. Bei den vier Säuglingen, welche in anderen Kliniken bereits vorbehandelten wurden, sowie bei sieben weiteren Füßen (Nr. 21, Nr. 22, Nr. 23, Nr. 24, Nr. 31, Nr. 36, Nr. 37), wurde der Pirani Score bei Erstvorstellung nicht erhoben. Insgesamt wurde der Score nach Pirani bei 13 Klumpfüßen der Studie initial nicht erhoben.

Bei Erstvorstellung der Kinder lag der Mittelwert des Pirani Scores bei 4,95 (\pm SD 0,77) Punkten. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ergab sich ein Mittelwert von 0,16 (\pm SD 0,47). Die bei Behandlungsbeginn vergebenen Werte lagen zwischen drei und sechs Punkten. Bei der Nachuntersuchung wurden null bis maximal zwei Punkte ermittelt.

Die Werte der Erstvorstellung korrelieren hochsignifikant mit den Werten der Nachuntersuchung ($p = 0,002$; $r = 0,544$).

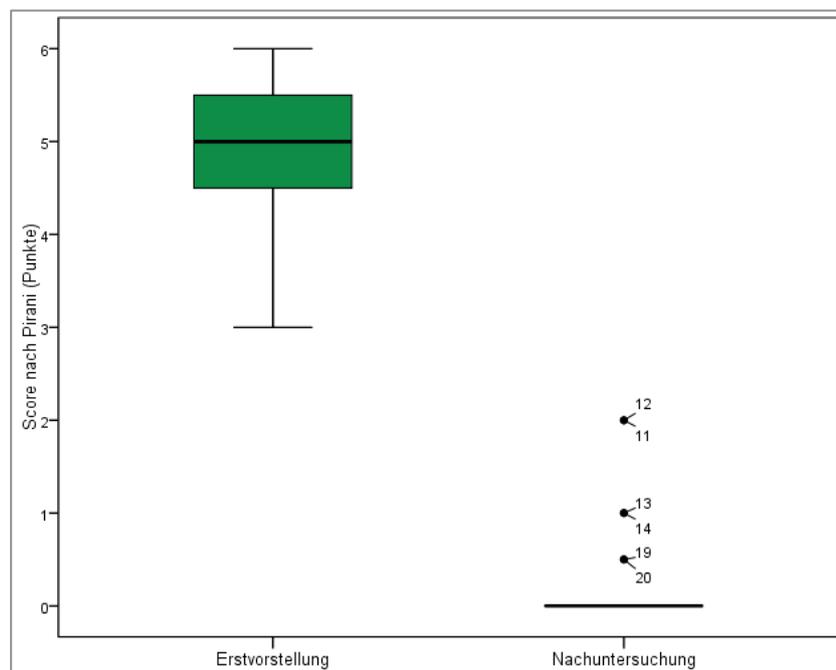


Abb. 23: Box-Whiskers-Plot zur Darstellung der Ergebnisse des Pirani Scores bei der Erstvorstellung und zur Nachuntersuchung der Füße.

Im Mittel erreichten die Füße eine Verbesserung von 4,72 (\pm SD 0,70) Punkten. Bei der Nachuntersuchung erreichten 37 Füße (86 %) den bestmöglichen Wert von null Punkten. Die Füße Nr. 11 und Nr. 12 erreichten die höchste Punktzahl der Nachun-

tersuchung von zwei Punkten. Die größte Verbesserung (von sechs auf null Punkte) zeigten die Füße Nr. 27 und Nr. 32. Bei keinem der Füße wurde eine Punktzunahme im Score nach Pirani ermittelt, was einer Verstärkung der Klumpfußdeformität entspräche.

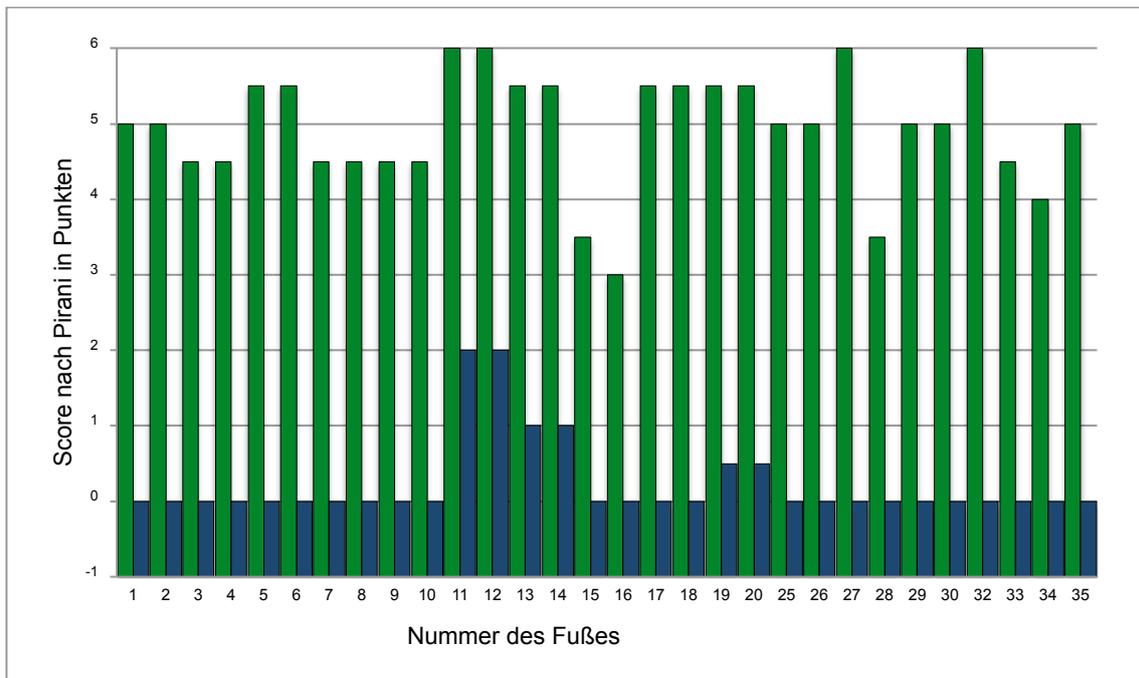


Abb. 24: Das Balkendiagramm zeigt die erreichten Punkte im Pirani Score. Dargestellt sind die Füße, für die der Score nach Pirani in der Erstvorstellung (grün) und der Nachuntersuchung (blau) erhoben wurde.

4.4.2. Score nach Dimeglio

Zum Zeitpunkt der Erstvorstellung wurde der Score nach Dimeglio bei Säuglingen mit nicht vorbehandelten Klumpfüßen erhoben. Da sich die Neugeborenen mit den Klumpfüßen Nr. 21, Nr. 22, Nr. 31 auf der Intensivstation befanden, wurde der Score vor Behandlungsbeginn bei ihnen nicht ermittelt. Des Weiteren wurde der Score nach Dimeglio für die Füße Nr. 36, Nr. 37 und Nr. 38 bei der Erstvorstellung nicht erhoben. Bei insgesamt elf Klumpfüßen wurde der Score nach Dimeglio vor Behandlungsbeginn nicht erhoben.

Der Score nach Dimeglio (Dimeglio et al. 1995) bewertet Klumpfüße mit bis zu 20 Punkten. Eine schwere Klumpfußdeformität geht mit einer hohen Punktzahl einher. Vor Beginn der Gipsverbandtherapie ergab sich ein Mittelwert von 13,09 (\pm SD 0,77) Punkten, was dem Typ III („stiff-soft“) nach Dimeglio entspricht. Bei der Nachuntersuchung wurde ein Mittelwert von 3,33 (\pm SD 0,24) Punkten erreicht, was dem Typ I („soft-soft“) nach Dimeglio entspricht.

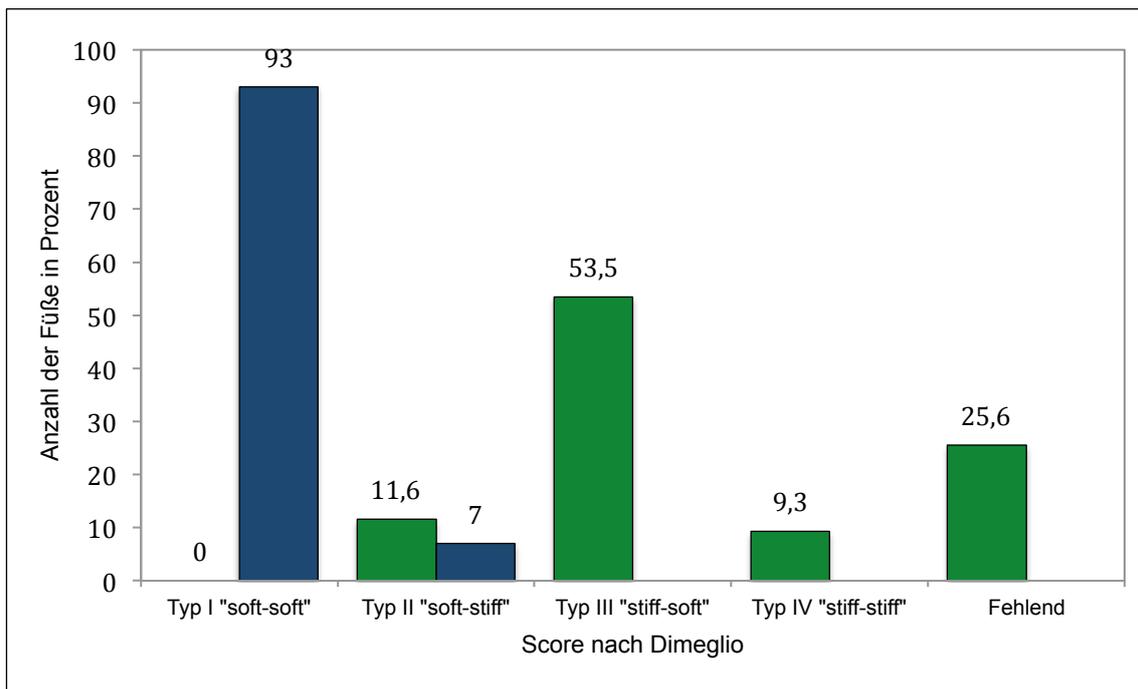


Abb. 25: Prozentuale Verteilung der Klumpfüße auf die Kategorien des Scores nach Dimeglio. In grün sind die Ergebnisse der initialen Untersuchung und in blau jene der Nachuntersuchung dargestellt.

Vor Behandlungsbeginn lagen die Score-Werte zwischen acht und der maximal erreichbaren Punktzahl von 20. Diese höchste Punktzahl wurde bei den Füßen Nr. 11 und Nr. 12 ermittelt. Beide Füße erhielten (mit sieben Punkten) auch bei der Nachun-

tersuchung den höchsten Wert aller untersuchten Füße. Die niedrigste ermittelte Punktzahl betrug einen Punkt.

Durchschnittlich hat sich der Score nach Dimeglio um 9,59 (\pm SD 2,38) Punkte bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung verringert. Die ermittelte Punktzahl der Erstvorstellung korreliert signifikant mit den erreichten Punkten der Nachuntersuchung ($p = 0,043$; $r = 0,360$). Der Dimeglio-Score verbesserte sich während der Behandlung bei jedem nachuntersuchten Fuß. Die geringste Verbesserung, um jeweils fünf Punkte, wurde bei den Füßen Nr. 13 und Nr. 32 ermittelt. Die stärkste Punktabnahme zeigte sich bei den Füßen Nr. 7 und Nr. 8, hier wurde der Score um 14 Punkte (von 15 auf einen) reduziert.

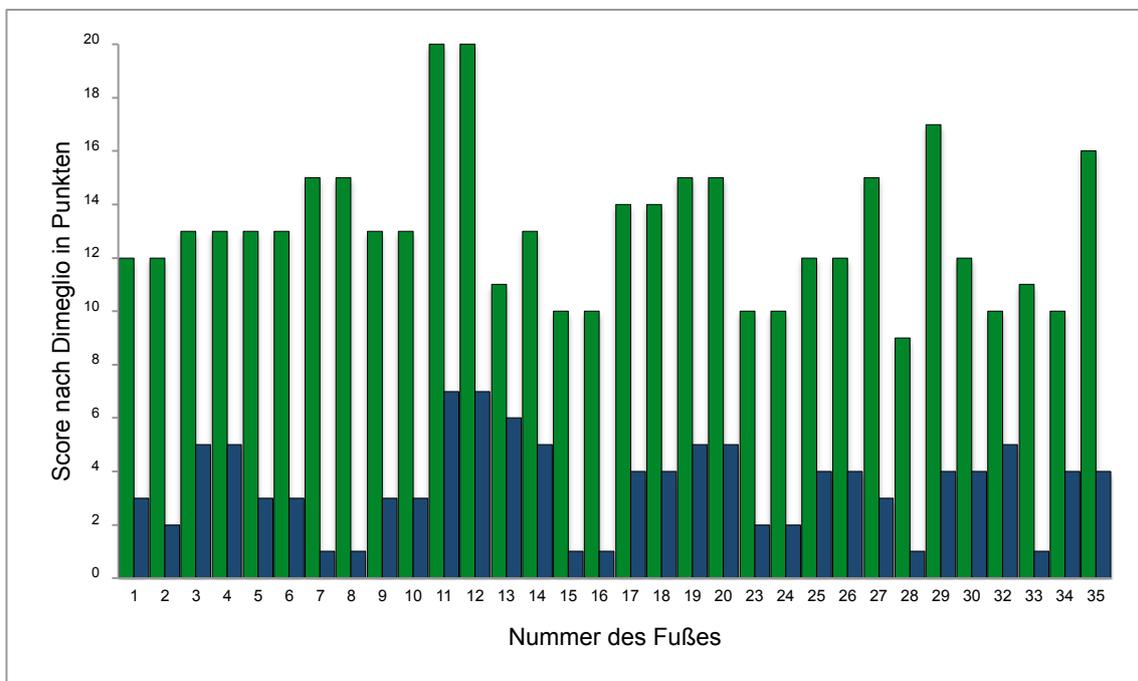


Abb. 26: Das Balkendiagramm zeigt die erreichten Punkte im Dimeglio Score. Dargestellt sind die Füße, für die der Score nach Dimeglio in der Erstvorstellung (grün) und der Nachuntersuchung (blau) erhoben wurde.

4.4.3. Score nach Laaveg und Ponseti

Der Score nach Laaveg und Ponseti wurde ausschließlich bei der Nachuntersuchung erhoben. Maximal konnten 100 Punkte erreicht werden, was einem „exzellenten“ Ergebnis (Laaveg et al. 1980) entspricht. Der Mittelwert bei der Nachuntersuchung lag bei 92,98 (\pm SD 5,12) Punkten. Die niedrigste ermittelte Punktzahl lag bei 81 Punkten (Nr. 11, Nr. 12). Kein Fuß erreichte die Höchstpunktzahl, maximal wurden 99 Punkte erreicht (Nr. 15, Nr. 16). 35 Füße erreichten ein „exzellentes“ Ergebnis und acht lagen im Punktebereich für ein „gutes“ Ergebnis. Somit lagen alle Füße im „exzellenten“ und „guten“ Bereich.

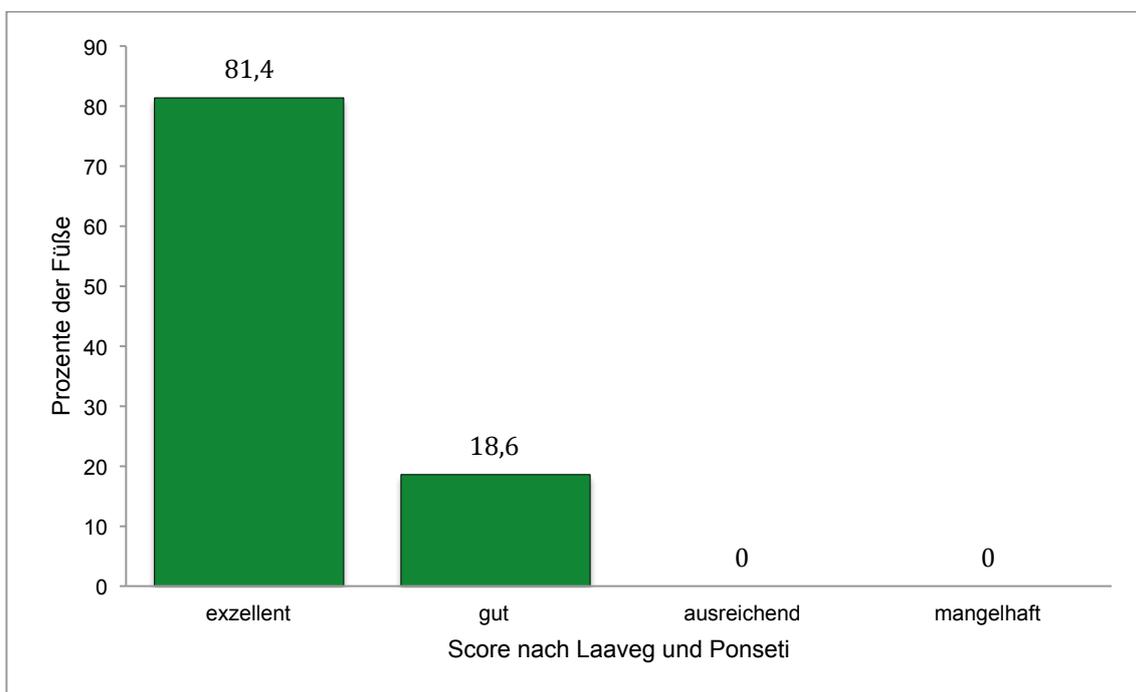


Abb. 27: Prozentuale Verteilung der Klumpfüße auf die Kategorien des Scores nach Laaveg und Ponseti zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

4.4.4. Score nach Atar

Der Score nach Atar wurde ausschließlich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erhoben. Maximal konnten 100 Punkte erreicht werden. Ein hoher Punktwert geht mit einer geringen Klumpfußdeformität einher. Der Mittelwert lag bei 85,16 (\pm SD 12,02) Punkten und somit im „exzellenten“ Bereich (Atar et al. 1990).

In den Score nach Atar fließen der im Röntgenbild gemessene Talokalkaneal- und Talus-Metatarsale-I-Winkel (mit jeweils fünf Prozent Gewicht) ein. Von sieben Füßen (Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3, Nr. 4, Nr. 25, Nr. 26, Nr. 33) waren keine Röntgenbilder vorhan-

den, woraus ein potentieller Verlust von bis zu zehn Punkten resultierte. Diese Füße erreichten dennoch 72 bis 85 Punkte und lagen somit im „guten“ bis „exzellenten“ Bereich des Scores.

Die Füße Nr. 11 und Nr. 12 erreichten mit 50 Punkten die niedrigste vergebene Wertung, welche einem „mangelhaften“ Ergebnis entspricht. Ein Fuß (Nr. 29) erhielt mit 61 Punkten ein „befriedigendes“ Ergebnis. Zehn Füße lagen im „guten“ Bereich des Scores und 30 Füße erzielten ein „exzellentes“ Ergebnis. Zwei Füße erreichten die Höchstpunktzahl (Nr. 15, Nr. 16).

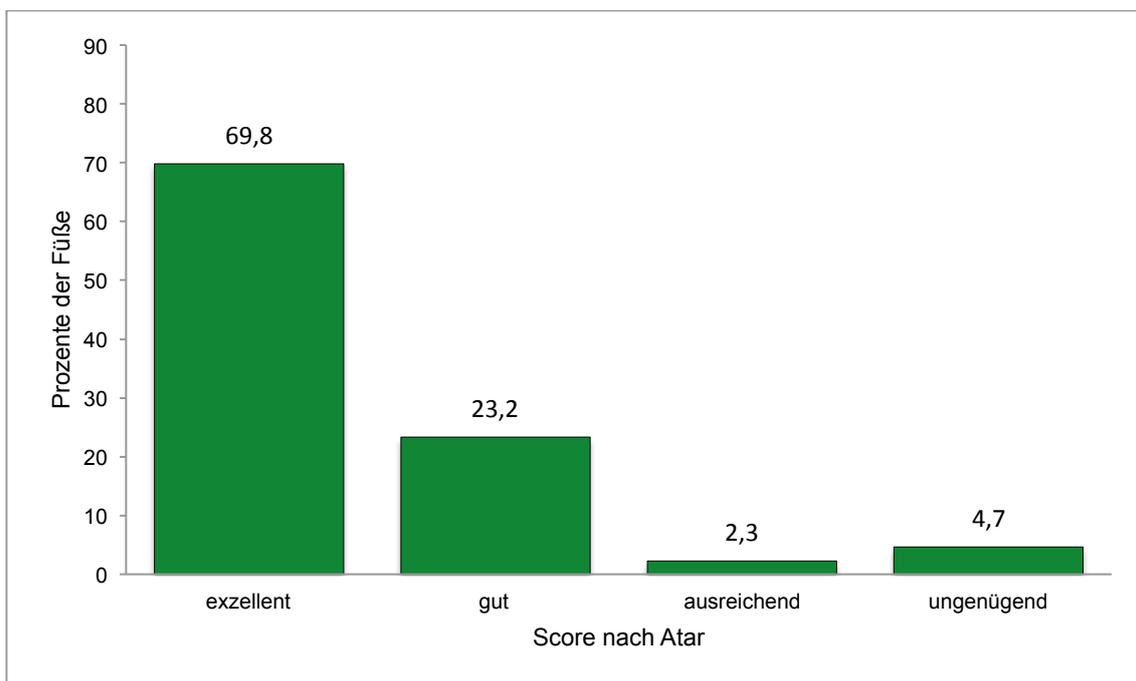


Abb. 28: Prozentuale Verteilung der Klumpfüße auf die Kategorien des Scores nach Atar bei der Nachuntersuchung

4.4.5. Score nach McKay

Der Score nach McKay wurde ebenfalls ausschließlich im Rahmen der Nachuntersuchung ermittelt. Maximal konnten 180 Punkte erreicht werden. Eine hohe Punktzahl geht mit einem guten Ergebnis einher. Der Mittelwert lag bei 158,84 (\pm SD 19,87) und fiel damit in den Bereich eines „befriedigendes“ Ergebnisses (McKay 1983). Die mit Abstand geringste Wertung erreichten die Füße Nr. 11 und Nr. 12 mit 85 Punkten, womit die Therapie als „erfolglos“ einzustufen ist (McKay 1983). Kein Fuß erreichte ein „mangelhaftes“ Ergebnis. Sechs Füße (Nr. 13, Nr. 14, Nr. 19, Nr. 20, Nr. 29, Nr. 31) lagen im Bereich zwischen 125 bis 159 Punkten und erreichten somit ein „ausreichendes“ Ergebnis. 32 Füße erzielten ein „gutes“ Ergebnis. Die maximale

Punktzahl wurde von den Füßen Nr. 25, Nr. 26 und Nr. 40 erreicht, sie lagen jeweils im „exzellenten“ Bereich.

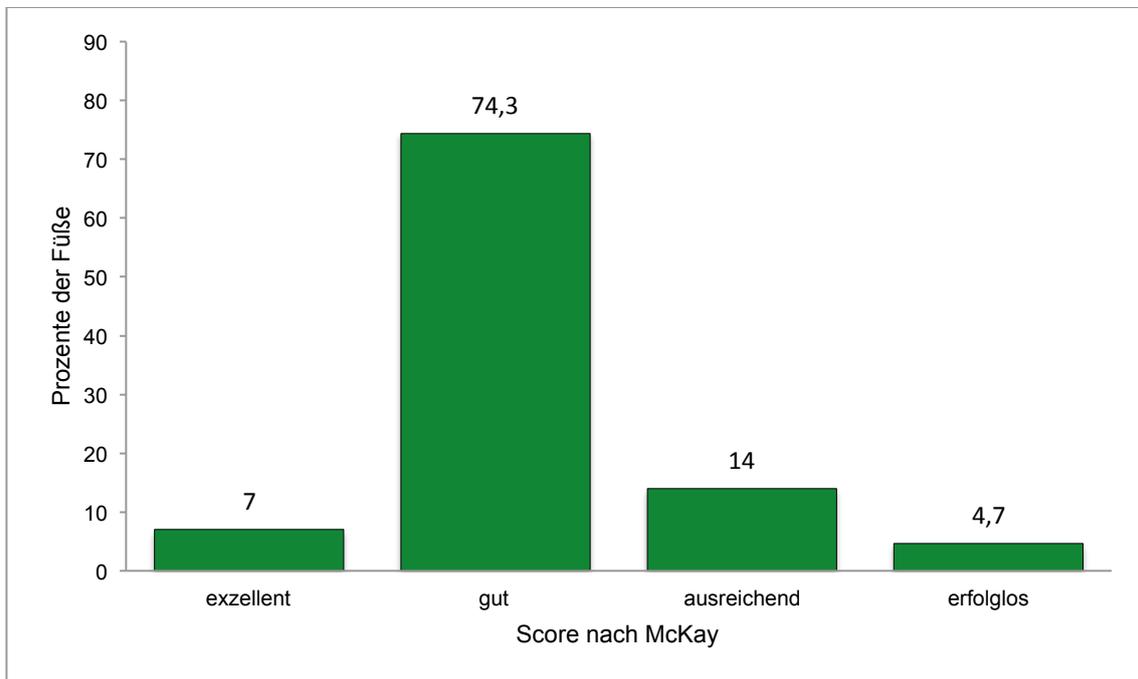


Abb. 29: Prozentuale Verteilung der Klumpfüße auf die Kategorien des Scores nach McKay bei der Nachuntersuchung.

Tabelle 9: Korrelationen nach Spearmans'-Rho zwischen den verschiedenen Scores. Korrelationskoeffizient „r“, Signifikanz „p“.

** Die Korrelation ist auf dem α -Niveau von 0,01 signifikant.

Score		Pirani	Dimiglio	Laaveg und Ponseti	Atar	McKay
Pirani	r		0,591**	- 0,591**	- 0,550**	- 0,611**
	p		p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
Dimiglio	r	0,591**		- 0,523**	-0,598**	- 0,529**
	p	p < 0,001		p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
Laaveg & Ponseti	r	- 0,591**	-0,523**		0,755**	0,748**
	p	p < 0,001	p < 0,001		p < 0,001	p < 0,001
Atar	r	- 0,550**	- 0,598**	0,755**		0,598**
	p	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001		p < 0,001
McKay	r	- 0,611**	- 0,529**	0,748**	0,598**	
	p	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	

4.5. Auswertung der podographischen Bilder

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient der dreimaligen Messung von Fläche sowie belastetem Anteil der Fußsohle und Zehen lag jeweils bei $\geq 0,94$. Der T-Test für unabhängige Stichproben ergab keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des prozentualen Anteils der prozentual belasteten Fußfläche bei den Klumpfüßen im Vergleich zu den gesunden Füßen ($p = 0,272$). Des Weiteren zeigte sich keine Korrelation zwischen dem belasteten Anteil der Fußsohle mit den Winkeln im antero-posterioren Röntgenbild ($r > -0,185$; $p > 0,356$) oder den Winkeln der lateralen Röntgenaufnahme ($r > -0,53$, $p > 0,432$).

Auch bei der Korrelationsanalyse zwischen den Scores der Nachuntersuchung und der prozentual belasteten Fußfläche zeigte sich keine signifikante Korrelation ($r > -0,168$, $p > 0,432$).

4.6. Röntgenologische Untersuchung

Anhand von radiologischen antero-posterioren Aufnahmen der Füße wurde der talokalkaneare Winkel, sowie der Winkel zwischen dem Talus und dem Os Metatarsale-I bestimmt. Von drei Klumpfüßen (Nr. 1, Nr. 2, Nr. 33) lagen keine Röntgenbilder vor. Bei sechs Füßen (Nr. 3, Nr. 4, Nr. 19, Nr. 25, Nr. 26, Nr. 43) konnte das antero-posteriore Röntgenbild auf Grund von Überlagerung oder mangelnder Qualität nicht ausgewertet werden, sodass von neun Füßen (20 %) keine Winkel der antero-posterioren Aufnahme vorlagen.

Bei zwei Füßen (Nr. 20, Nr. 35) konnte in der lateralen Röntgenaufnahme der tibio-kalkaneare und tibiotalare Winkel auf Grund von zu kurzem Bildausschnitt nach proximal nicht bestimmt werden. Bei einem Bild konnte der Talus-Metatarsale-I-Winkel aufgrund von zu geringer Bildqualität nicht erfasst werden. Damit lagen für 93 % der untersuchten Füße Daten des lateralen talokalkanearen, für 88 % des tibio-kalkanearen und tibiotalaren sowie für 90 % Daten des Talus-Metatarsale-I-Winkels vor.

4.6.1. Talokalkanear- und Talus-Metatarsale-I-Winkel in der a.-p. Röntgenaufnahme

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient für die dreimalig gemessenen Werte des talokalkanearen Winkels lag zwischen 0,922 und 0,977. Der Mittelwert des talokalkanearen Winkels betrug $28,9^\circ$ ($SD \pm 7,9^\circ$). Der kleinste gemessene Winkel betrug $15,8^\circ$

(Nr. 29), der größte 45,3° (Nr. 21). Drei Füße überschritten den Wert von 40° (Nr. 21, Nr. 24, Nr. 32). Fünf Füße erreichten Werte unter 20° (Nr. 11, Nr. 16, Nr. 27, Nr. 29, Nr. 31), entsprechend einem Klumpfuß (Simons 1977). Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen Füßen mit Vorfußadduktion und Füßen in Neutralstellung in Bezug auf den Talokalkanearewinkel ($p = 0,899$; T-Wert = -0,130).

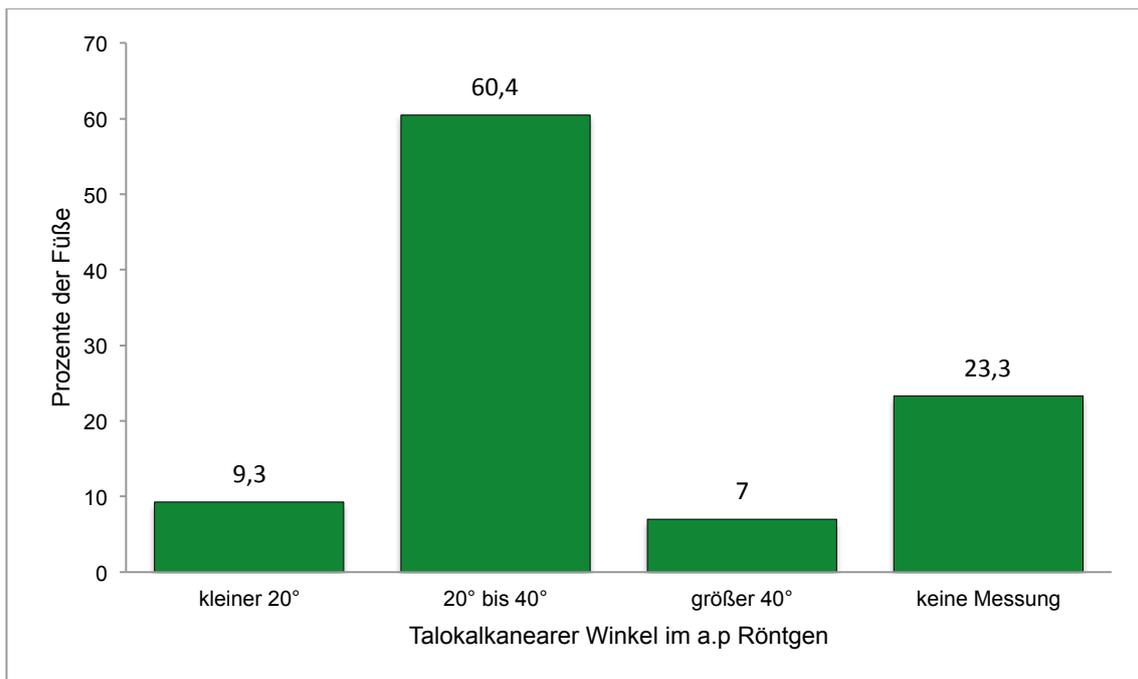


Abb. 30: Prozentuale Verteilung der Füße auf drei Winkelbereiche des talokalkanearen Winkels im a.-p. Röntgenbild.

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient für die dreimalig gemessenen Werte des Talus-Metatarsale-I-Winkels lagen zwischen 0,983 und 0,995. Die Werte des Talus-Metatarsale-I-Winkels lagen im Mittel bei 8,9° (SD \pm 17,3 °; Median 6,1°; Spannweite 76°).

Der kleinste Wert wurde bei Fuß Nr. 39 mit -15,8° bemessen. Der größte Winkel zeigte sich bei Fuß Nr. 11 mit 60,2°. Für zwölf Füße ergab sich ein Talus-Metatarsale-I-Winkel im Bereich von -20° bis 0° und somit im Normbereich liegend (Simons 1977) . Insgesamt 13 Füße lagen im Bereich von 1° bis 14°. Werte größer 15°, entsprechend einem Klumpfuß (Döderlein 1999), lagen bei neun Füßen vor (Nr. 5, Nr. 8, Nr. 11, Nr. 12, Nr. 20, Nr. 29, Nr. 35, Nr. 38, Nr. 39).

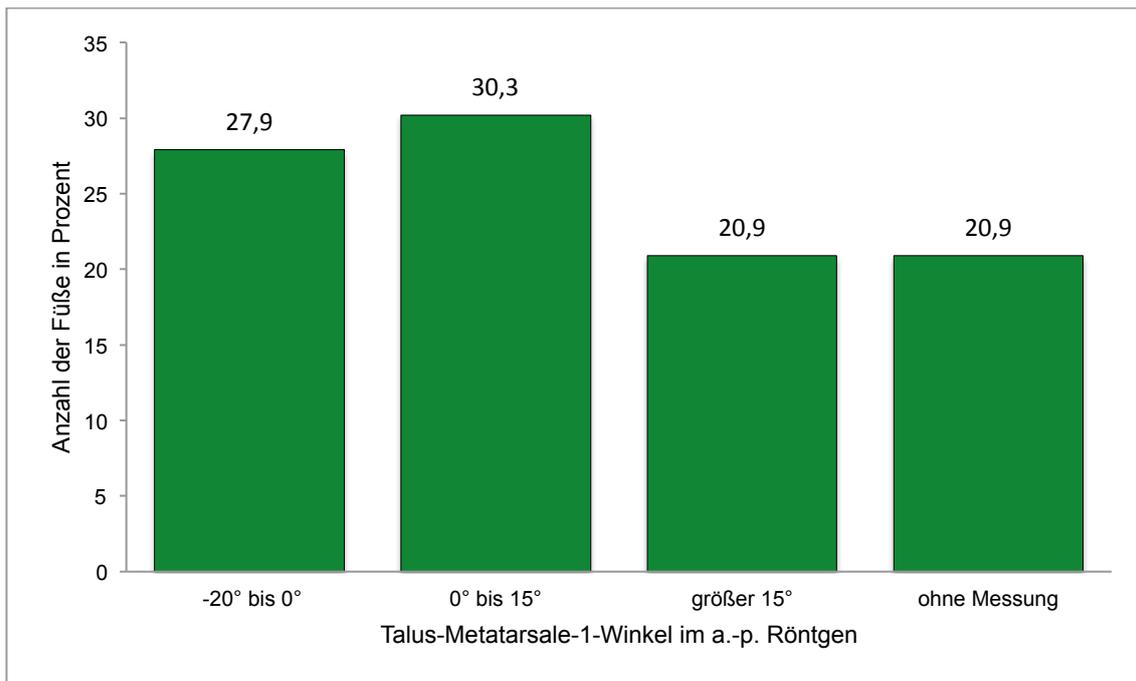


Abb. 31: Prozentuale Verteilung der Füße auf drei Winkelbereiche des Talus-Metatarsale-I-Winkels im a.-p. Röntgenbild.

Es zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen dem Talus-Metatarsale-I-Winkel in den antero-posterioren Röntgenaufnahmen und dem bei der Nachuntersuchung erhobenen Score nach Pirani ($p = 0,005$; $r = 0,471$) sowie mit dem Score nach Atar ($p = 0,003$; $r = 0,499$). Der talokalkaneare Winkel zeigte des Weiteren eine signifikante Korrelationen mit den Score nach Laaveg und Ponseti ($p = 0,041$; $r = 0,352$). Der Mann-Whitney U-Test für unabhängige Stichproben zeigte einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen „Talus-Metatarsale-I-Winkel $\leq 15^\circ$ “ und „Talus-Metatarsale-I-Winkel $> 15^\circ$ “ hinsichtlich des Score-Wertes nach Laaveg und Ponseti ($p = 0,015$; $Z = -2,43$). Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied von Füßen mit beziehungsweise ohne klinischer Vorfußadduktion und dem Talus-Metatarsale-I-Winkel ($p = 0,116$; T-Wert = $-1,617$).

Tabelle 10: Korrelationskoeffizient „r“ nach Spearmans`-Rho und Signifikanzniveau „p“ der im a.-p. Röntgenbild gemessenen Winkel und der erhobenen Scores der Nachuntersuchung.

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant

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

Score		Talokalkanearewinkel	Talus-Metatarsale-I-Winkel
Pirani	r	0,013	0,471**
	p	0,942	0,005
Dimeglio	r	0,013	0,218
	p	0,941	0,215
Laaveg und Ponseti	r	- 0,066	- 0,352*
	p	0,711	0,041
Atar	r	- 0,116	- 0,499**
	p	0,512	0,003
McKay	r	0,020	- 0,251
	p	0,910	0,152

4.6.2. Interossäre Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme

Im Röntgenbild der Füße von lateral wurden der Talokalkanear-, Tibiotalar- und der Talus-Metatarsale-I-Winkel gemessen. Die Intraklassenkorrelationskoeffizienten für die dreimalig gemessenen Werte des talokalkanearen Winkels lagen zwischen 0,995 und 0,998. Es ergab sich ein Mittelwert von 27,8° (\pm SD 10,3°; Median 27°; Spannweite 44,1°). Der kleinste Winkel wurde bei Fuß Nr. 11 mit 1,4°, der größte Winkel bei Fuß Nr. 28 mit 45,5° gemessen. 30 Füße zeigten einen talokalkanearen Winkel kleiner 35°. Kleinere Winkel als 25°, entsprechend einem Klumpfuß (Simons 1977), ergaben sich für elf Füße (Nr. 11, Nr. 12, Nr. 13, Nr. 14, Nr. 16, Nr. 19, Nr. 20, Nr. 30, Nr. 34, Nr. 37, Nr. 43). Zehn Füße lagen zwischen 35° bis 50° und damit im Normbereich für Kinder (Simons 1977). Der in der lateralen Röntgenaufnahme ermittelte talokalkaneare Winkel korreliert signifikant mit allen bei der Nachuntersuchung erhobenen Scores.

Der Mann-Whitney U-Test für unabhängige Stichproben zeigte einen signifikanten Unterschied ($p = 0,009$; $Z = -2,575$) für Füße mit einem Winkel $< 25^\circ$, entsprechend einem Klumpfuß (Döderlein 1999), verglichen mit Füßen die einen Winkel $\geq 25^\circ$ hatten, in Bezug auf den Score nach Laaveg und Ponseti. Die Mittelwerte des Scores lagen für im Röntgen gemessene Klumpfußwerte bei 88,7 Punkten, entsprechend einem „guten“ Ergebnis nach Laaveg und Ponseti, die Mittelwerte für Winkelwerte $\geq 25^\circ$ lagen bei 94,6 Punkten, entsprechend einem „exzellenten“ Ergebnis.

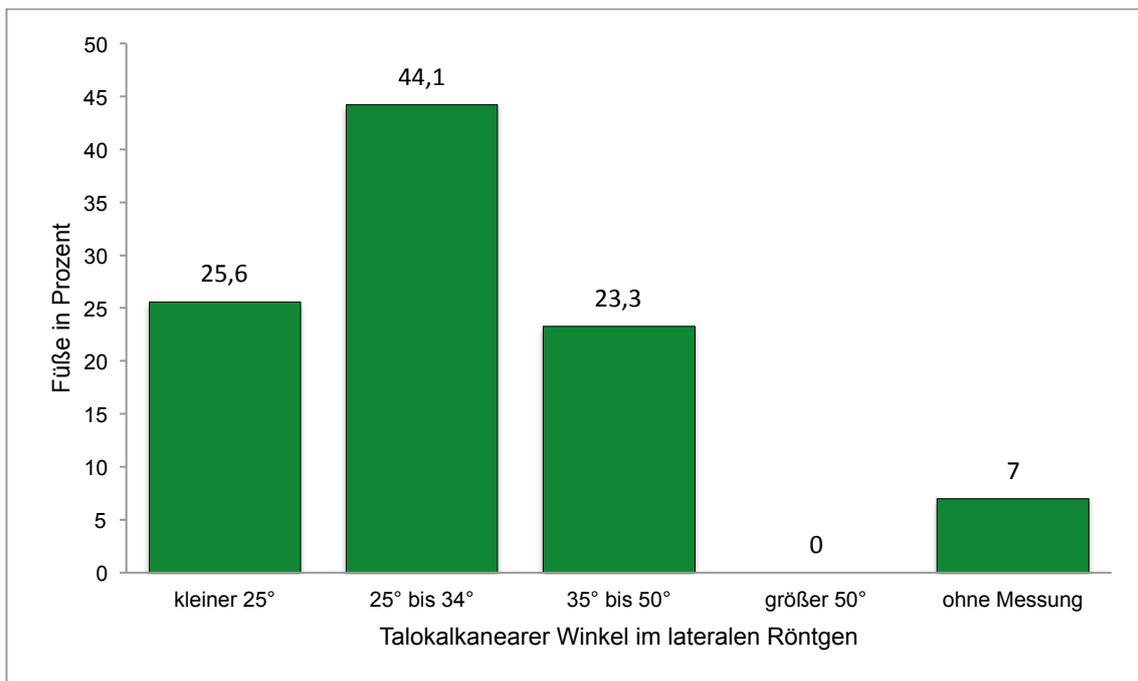


Abb. 32: Prozentuale Verteilung der Füße auf vier Winkelbereiche des talokalkanearen Winkels in der lateralen Röntgenaufnahme in Anlehnung an Normwerte nach Simons (1977).

4.6.3. Talus-Metatarsale-I-Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient für die dreimalig gemessenen Werte des Talus-Metatarsale-I-Winkels lag zwischen 0,962 und 0,990. Aufgrund der Röntgenbildqualität konnte der Talus-Metatarsale-I-Winkel bei vier Füßen nicht ermittelt werden. Der Talus-Metatarsale-I-Winkel der lateralen Röntgenaufnahmen lag durchschnittlich bei $8,2^\circ$ (\pm SD $6,7^\circ$, Median $6,3^\circ$; Spannweite $26,5^\circ$). Der kleinste Wert zeigte sich bei Fuß Nr. 38 mit $1,1^\circ$, der größte Wert bei Fuß Nr. 11 mit $27,6^\circ$. 36 Füße lagen im Bereich zwischen 0° bis 20° und damit im Normbereich für Kinder (Döderlein 1999). Bei drei Füßen (Nr. 11, Nr. 20, Nr. 28) wurden Werte größer 20° gemessen.

Zwischen dem Talus-Metatarsale-I-Winkel und dem Score nach Pirani zeigte sich eine signifikante Korrelation ($p = 0,003$; $r = 0,462$) (siehe Tabelle 11). Der Talus-Metatarsale-I-Winkel wies ebenfalls eine signifikante Korrelation mit den erhobenen Scores nach Dimeglio und dem Score nach Laaveg und Ponseti auf ($p < 0,05$).

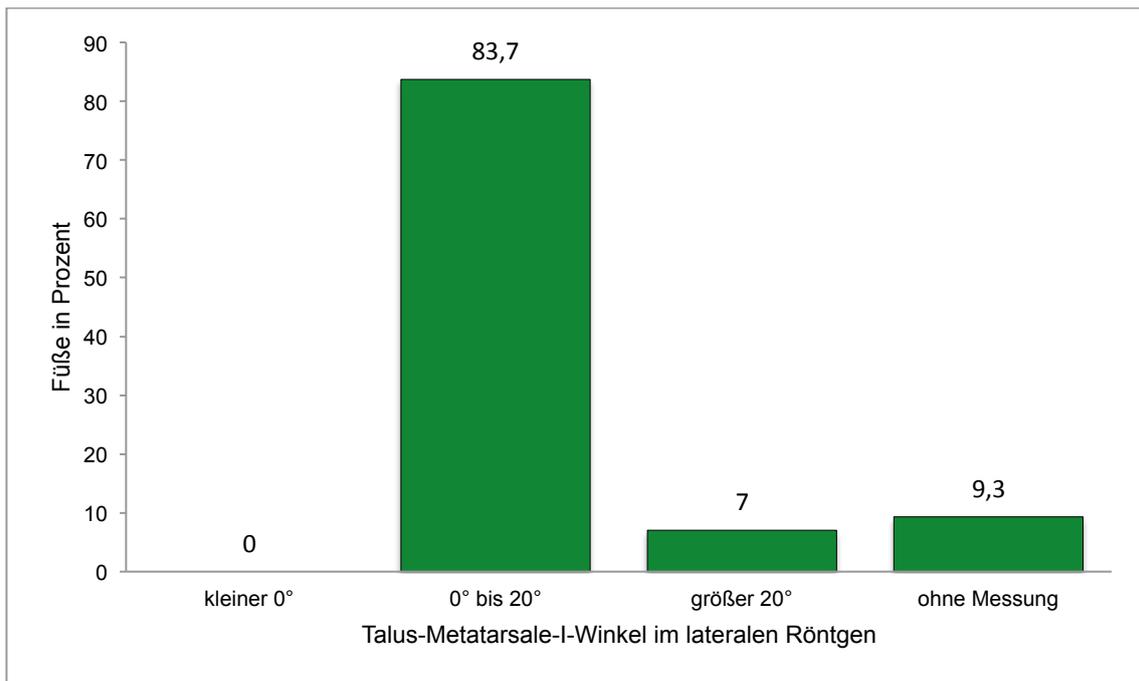


Abb. 33: Prozentuale Verteilung der Füße auf drei Winkelbereiche des Talus-Metatarsale-I-Winkels in der lateralen Röntgenaufnahme in Anlehnung an Normwerte (Döderlein 1999).

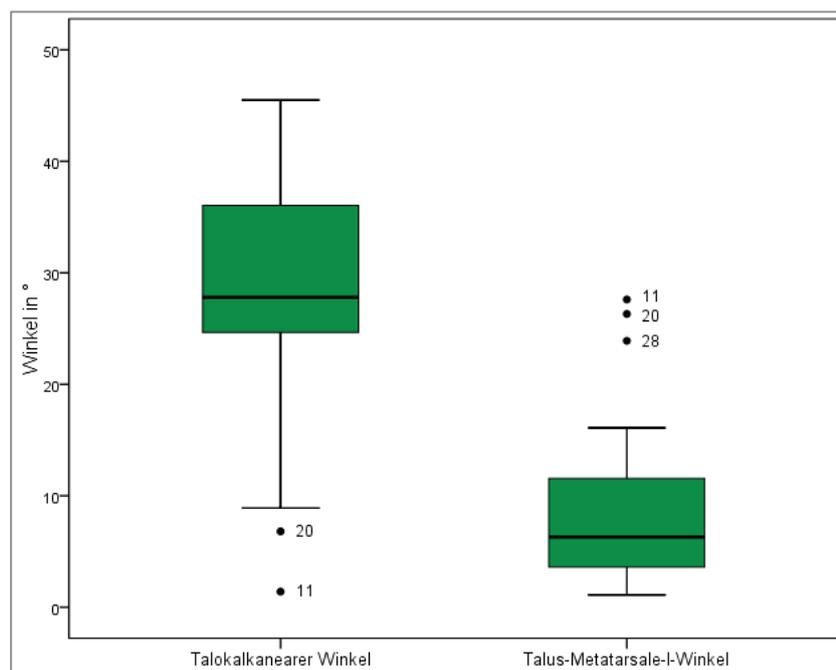


Abb. 34: Box-Whiskers-Plot stellt die Verteilung des talokalkaneären sowie des Talus-Metatarsale-I-Winkels, gemessen in lateralen Röntgenaufnahmen dar.

4.6.4. Tibiokalkaneärwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient für die dreimalig gemessenen Werte des tibiokalkaneären Winkels lag zwischen 0,750 und 0,998. Durchschnittlich zeigte sich ein

lateralen tibiokalkanearen Winkel von $86,7^\circ$ (\pm SD $16,1^\circ$, Median $89,8^\circ$; Spannweite $63,7^\circ$). Der kleinste gemessene Wert lag bei $57,3^\circ$ (Nr. 18), der größte Winkel betrug $121,0^\circ$, gemessen bei Fuß Nr. 39. Fuß Nr. 2 und Fuß Nr. 18 lagen im Normbereich zwischen 25° und 60° . Die anderen gemessenen tibiokalkanearen Winkel lagen oberhalb von 60° . Bei keinem Fuß wurde ein für einen Klumpfuß typischen Winkel kleiner 25° nachgewiesen. Zwischen dem tibiokalkanearen Winkel und den bei der Nachuntersuchung erhobenen Scores lag keine Korrelation vor.

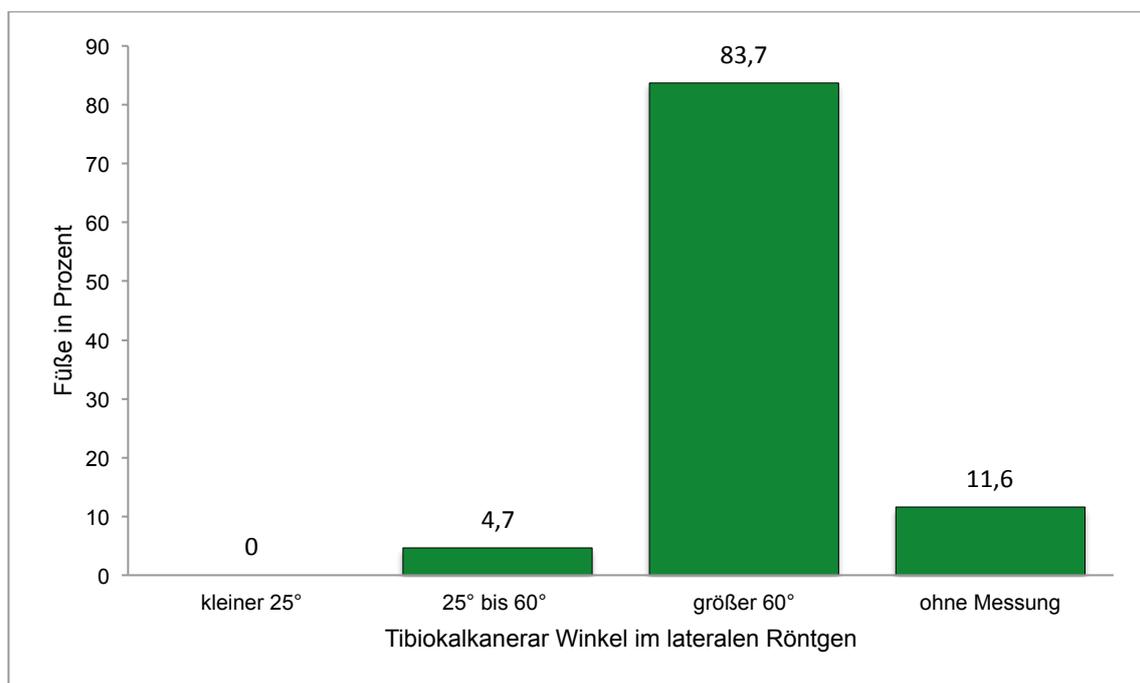


Abb. 35: Prozentuale Verteilung der Füße auf drei Winkelbereiche des tibiokalkanearen Winkels, gemessen in der lateralen Röntgenaufnahme.

4.6.5. Tibiotalarwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient für die dreimalig gemessenen Werte des tibiotalaren Winkels lag zwischen 0,993 und 0,988. Der laterale tibiotalare Winkel lag durchschnittlich bei $114,7^\circ$ (\pm SD $14,7^\circ$, Median $113,8^\circ$; Spannweite $66,3^\circ$). Der kleinste Winkel wurde bei Fuß Nr. 10 mit $91,9^\circ$ ermittelt, Fuß Nr. 39 zeigte mit $158,2^\circ$ den größten Wert. Sechs Füße lagen im Bereich zwischen 70° und 100° , 32 Füße erreichten einen Wert größer 100° . Bei fünf Füßen war es nicht möglich den tibiotalaren Winkel in den lateralen radiologischen Aufnahmen der Füße zu bestimmen. Der Pirani Score korrelierte signifikant ($p = 0,009$, $r = 0,419$) mit dem tibiokalkanearen Winkel.

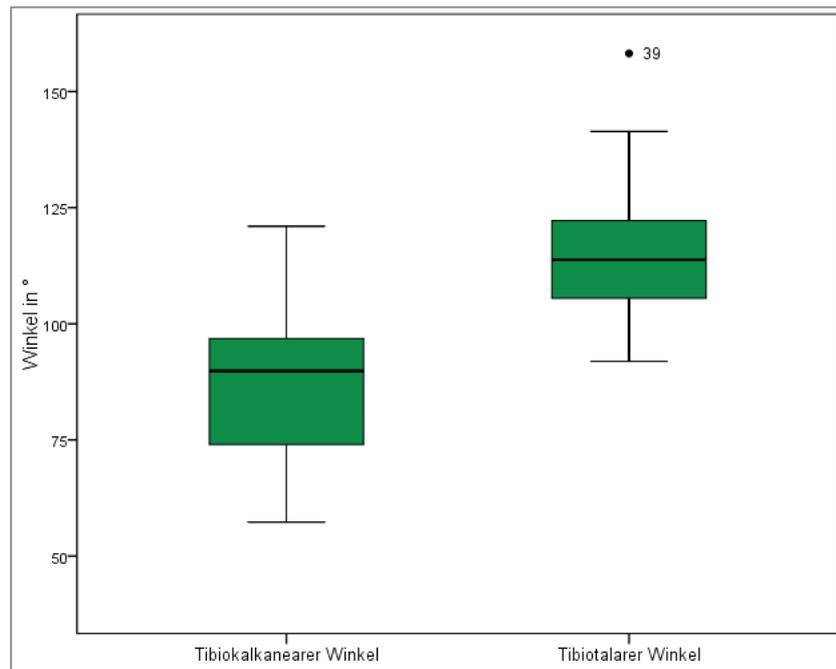


Abb. 36: Box-Whiskers-Plot stellt die Verteilung des lateralen tibiokalkanearen sowie des lateralen tibiotalareren Winkels, gemessen in lateralen Röntgenaufnahmen dar.

4.6.6. Talokalkaneärer Index nach Beatson et al. (1966)

Der talokalkaneäre Index stellt die Summe aus talokalkaneären Winkel im anterior-posterioren sowie im lateralen Strahlengang dar. Im Mittel lag der talokalkaneäre Index bei $56,75^\circ$ (\pm SD $13,6^\circ$). Der kleinste ermittelte Index betrug $18,8^\circ$ (Nr. 11) und der größte $85,4^\circ$ (Nr. 21). Drei Füße (Nr. 11, Nr. 12, Nr. 20) zeigten einen Index-Wert unter 40° , entsprechend einem Klumpfuß (Beatson et al. 1966). Die anderen 31 Füße (72,1 %) zeigten einen Index über 40° . Bei neun Füßen (20,9 %) wurde aufgrund von einem oder zwei fehlenden Werten kein talokalkaneärer Index berechnet.

Tabelle 11: Korrelationskoeffizient „r“ nach Spearmans`-Rho und Signifikanzniveau „p“ der in der lateralen Röntgenaufnahme der FüÙe gemessen Winkel und des talokalkanearen Index zu den erhobenen Scores der Nachuntersuchung.

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant

Score		Talokalkanear- winkel	Talus- Metatarsale- I-Winkel	Tibiokalkanear- winkel	Tibiotalar- winkel	Talo- kalkanearer Index
Pirani	r	- 0,604**	0,462**	0,419**	0,044	- 0,475**
	p	< 0,001	0,003	0,009	0,793	0,004
Dimeglio	r	-0,469**	0,404*	0,143	- 0,145	- 0,462**
	p	0,002	0,011	0,393	0,384	0,006
Laaveg und Ponseti	r	0,548**	- 0,398*	- 0,284	- 0,078	0,445**
	p	< 0,001	0,012	0,084	0,642	0,008
Atar	r	0,442**	- 0,289	- 0,199	- 0,065	0,501*
	p	0,004	0,074	0,231	0,697	0,003
McKay	r	0,459**	- 0,224	- 0,307	- 0,126	0,394*
	p	0,003	0,170	0,061	0,449	0,021

5. Diskussion

Bis zum Jahr 2006 wurden an der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums Homburg idiopathische Klumpfüße nach der Methode von Imhäuser (Imhäuser 1980) behandelt. Im Jahr 2006 wurde die Therapie nach der Methode von Ponseti umgestellt. Ponseti selbst zeigte schon 1963 in einem Behandlungszeitraum von bis zu zwölf Jahren ein „gutes Ergebnis“ bei 71 % der behandelten Klumpfüße (Smoley 1963). Bis 1980 konnten bei 90 % der in seiner Klinik behandelten Patienten eine Zufriedenheit der Funktion, wie auch des äußeren Erscheinungsbildes verzeichnet werden (Laaveg et al. 1980). In einem direkten Vergleich der Ponseti-Methode und einem herkömmlichen Gipstherapieprotokoll belegten Herzenberg et al. (2002), dass sowohl die Beweglichkeit im Subtalargelenk, wie auch in der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk bei den nach Ponseti behandelten Klumpfüßen besser waren. Auch in der Gegenüberstellung zu einer Therapie mit umfangreicher chirurgischer Versorgung zeigte die Behandlung nach Ponseti im Erwachsenenalter eine geringere Wahrscheinlichkeit für eine Arthrose des Sprunggelenks und Fußes und einen größeren Bewegungsumfang in der Ganganalyse (Smith et al. 2013).

Seit Einführung der Methode nach Ponseti an der Klinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums Homburg, war es Ziel dieser Studie die Ergebnisse der Klumpfußtherapie anhand der klinischen und radiologischen Befunde zu evaluieren. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf die prospektiv erhobenen Scores nach Pirani und Dimeglio gelegt werden. Die Problematik der Compliance in der Schienentherapie und statistischen Auswertung derselbigen sollte durch eine neue Berechnungsweise quantifiziert werden. Die Untersuchungsergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

5.1. Überblick

Insgesamt zeigten alle Füße beim Vergleich der Werte bei initialer Vorstellung und Nachuntersuchung eine positive Entwicklung im Score nach Dimeglio, wie auch im Score nach Pirani. Folglich verbesserten sich alle Klumpfüße, die nach der Ponseti Therapie behandelt wurden. Sehr ähnliche Werte bei Vor- und Nachuntersuchung des Pirani Scores zeigten Saetersdal et al. (2012), wobei in dieser Studie ein anderes Schienenkonzept angewandt wurde.

Den Erfolg der Ponseti-Therapie bei den Kindern unserer Studie bestätigten auch die Ergebnisse im Score nach Laaveg und Ponseti und Score nach Atar, in denen die Mittelwerte der nachuntersuchten Klumpfüße im „exzellenten“ Bereich der Scores lagen. Überdies wies die durchschnittliche Dorsalextension und Plantarflexion des oberen Sprunggelenks nur eine leichte Einschränkung gegenüber der Beweglichkeit eines normalen Fußes auf (Schünke M. 2007).

5.2. Studiendesign

5.2.1. Patientenanzahl

Im Saarland gab es zwischen den Jahren 2006 bis 2009 28.581 Lebendgeburten (Statistisches Bundesamt 2006-2009), entsprechend durchschnittlich 7145 Lebendgeburten pro Jahr. Bei einer Inzidenz des Klumpfußes von 1,24/1000 Lebendgeburten (Wynne-Davies 1965), wäre in den vier Jahren des Studienzeitraums demnach von circa 35 Klumpfüßen bei Lebendgeborenen im Saarland auszugehen. Verglichen mit den 52 Klumpfußbehandlungen an unserer Klinik weist dies daraufhin, dass die Ergebnisse dieser Studie trotz der kleinen Fallzahl repräsentativ für den Umkreis der Klinik beziehungsweise des Saarlands sind, da anhand der Geburtenrate eigentlich von weniger betroffenen Säuglingen auszugehen wäre.

Vergleichbare Studien weisen ähnliche Fallzahlen auf (Flynn et al. 1998, Eberhardt et al. 2006, Smith et al.). In Verbindung mit der hohen Nachuntersuchungsrate ist von einer angemessenen Aussagekraft der Studie auszugehen.

5.2.2. Klumpfußausprägung

Die initial erhobenen Score-Werte nach Pirani sind mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichbar (Abdelgawad et al. 2007, Haft et al. 2007, Avilucea et al. 2009, Park et al. 2009, Hemo et al. 2011, Saetersdal et al. 2012, Verma et al. 2012) hier lagen die Werte durchschnittlich zwischen 4,3 Punkten (Park et al. 2009) und 5,0 Punkten (Verma et al. 2012). Auch die initial ermittelten Werte des Scores nach Dimeglio waren mit anderen Studienergebnissen vergleichbar (Ippolito et al. 2003, Segev et al. 2005, Abdelgawad et al. 2007, Richards et al. 2008, Sud et al. 2008). Diese veröffentlichten durchschnittliche Werte zwischen 11,9 Punkten (Segev et al. 2005) und 15 Punkten (Abdelgawad et al. 2007). Aufgrund dieser komparablen Werte der Scores gehen wir davon aus, dass es sich bei den von uns untersuchten Pati-

enten trotz der moderaten Fallzahl um eine durchschnittliche Verteilung der Klumpfußausprägung handelt.

5.2.3. Einschlusskriterien

Da davon auszugehen ist, dass Kinder ab dem 18. Lebensmonat laufen können (Sitzmann 2003), eine Fähigkeit, die uns für viele der Untersuchungen und Scores als wichtig erschien, wurden erst Kinder, die mindestens den 17. Lebensmonat vollendet hatten, nachuntersucht. Betrachtet man andere Studien (Bor et al. 2009), (Porecha et al. 2011, Eberhardt et al. 2012) die Kinder ab einem Behandlungszeitraum von fünf Jahren nachuntersuchten und Laaveg et al. (1980) die ein Patientenkollektiv von durchschnittlich 18,8 Jahren beurteilten, zählte unsere Studie sicher zu denen eines kürzeren Beobachtungszeitraums. Trotzdem ist das durchschnittliche Alter bei der Nachuntersuchung vergleichbar mit anderen Studienaufbauten, wie einem durchschnittlichen Nachuntersuchungsalter von 22 Monaten (Ford-Powell et al. 2013), 20 Monaten (Pulak et al. 2012), 16 Monaten (Radler et al. 2006) und 27 Monaten (Dobbs et al. 2004)). Des Weiteren finden sich auch Veröffentlichungen die ein jüngeres Patientenkollektiv nachuntersuchten (Thacker et al. 2005, Eberhardt et al. 2006).

Ausgeschlossen wurden Kinder, deren Klumpfußbehandlung erst nach dem zweiten Lebensmonat begann. Die Altersabhängigkeit der Klumpfußbehandlung nach Ponseti wird in der Literatur stark diskutiert. Radler et al. (2013) schlossen in einer Studie mit 59 Füßen nur Kinder bis zu einem Behandlungsbeginn am 21. Lebenstag ein. Bei Behandlungen von Ponseti selbst, wurden Patienten deren Behandlung bis zum sechsten Lebensmonat eingeleitet wurde, in die Auswertung eingeschlossen (Laaveg et al. 1980). Ihnen gleich taten es Thacker et al. (2005). Jowett et al. (2011) konnten in ihrer systematischen Übersichtsarbeit keine Unterschiede im Behandlungsergebnis in Abhängigkeit zum Alter bei Behandlungsbeginn nachweisen. Bor et al. (2009) und Alves et al. (2009) untersuchten die Auswirkung des Alters bei Therapiebeginn der Ponseti-Therapie. Im Vergleich einer älteren mit einer jüngeren Gruppe bei Behandlungsbeginn war aber die ältere Gruppe zumindest teilweise (Bor et al. 2009) oder fast vollständig (Alves et al. 2009) vorbehandelt. Also war auch die Behandlung der älteren Gruppe eigentlich schon in jüngerem Alter begonnen worden, auch wenn es sich um eine andere oder nicht vollkommen suffiziente Therapie handelte. Dobbs et al. (2004) kamen zu dem Ergebnis, dass das Alter bei Behandlungsbeginn keine

Auswirkung auf das Endergebnis hatte, allerdings wurden hier 71 % der Studienteilnehmer innerhalb der ersten drei Lebensmonate behandelt und nur zwei Patienten (entsprechend 2,3%) der Studie waren bei der Erstvorstellung älter als zwölf Monate. Spiegel et al. (2009) zeigten an 260 nicht vorbehandelnden Klumpfüßen von Kindern im Alter zwischen einem und sechs Jahren, dass auch in diesem Alter gute Ergebnisse mit der Ponseti-Methode erreicht werden können. Doch musste hier bei 14 % der Füße eine posteriore oder posteriomediale Arthrolyse durchgeführt werden. Diese operative Versorgung war hauptsächlich bei den älteren Kindern notwendig. Langzeitergebnisse solcher spät behandelte Klumpfüße sind noch ausstehend.

In einer retrospektiven Studie von 252 Klumpfüßen konnten Hutchins et al. (1985) keinen signifikanten Einfluss des Behandlungsbeginns auf das funktionelle Ergebnis nachweisen. Kontrovers zu dieser Aussage zeigten Abdelgawad et al. (2007), dass Kinder deren Klumpfüße nicht initial mit der Gipsbehandlung nach Ponseti und Achillotomie korrigiert werden konnten, signifikant älter waren (im Mittel 36 Wochen) als Kinder deren Klumpfüße initial erfolgreich behandelt werden konnten. Auch Lehman et al. (2003) zeigten, dass bei Kindern deren Therapie nach dem siebten Lebensmonat eingeleitet wurde, eine höhere Wahrscheinlichkeit für schlechtere Ergebnisse bestand.

Ogleich ein möglichst früher Behandlungsbeginn von Klumpfüßen generell angestrebt wird, ist die Studienlage zum Einfluss des Behandlungsbeginns auf das Therapieergebnis kontrovers. Um diesem potentiellen Störfaktor Rechnung zu tragen, wurden ausschließlich Kinder, deren Behandlung bis zum zweiten Lebensmonat begonnen hatte, in die Studie eingeschlossen.

5.3. Methode

5.3.1. Gipstherapie

Die Gipstherapie wurde von einem einzigen Therapeuten durchgeführt. Unterschiede in der Therapie oder im Erfahrungswert des Anwenders sollten somit keinen Einfluss in die Ergebnisse haben. Im Mittel wurden sechs Gipsverbände bis zur Achillotomie benötigt. Dies entspricht dem Durchschnitt anderer Studien, die im Mittel fünf bis acht Gipsverbände anlegten (Smoley 1963, Dobbs et al. 2004, Eberhardt et al. 2006, Bor et al. 2009, Church et al. 2012, Pulak et al. 2012, Ford-Powell et al. 2013).

Nogueira et al. (2009) zeigten, dass die Anzahl der Gipse weder mit dem initialen Score nach Pirani noch mit der Punkteabnahme korreliert. In einer Langzeitstudie von Holt et al. (2015) konnte keine Beziehung zwischen der initialen Gipsanzahl und der im Verlauf auftretenden Notwendigkeit für einen operativen Sehnentransfer des M. tibialis anterior festgestellt werden.

Bei rund einem Viertel der Füße unserer Studie traten Probleme während der Gipsverbandtherapie auf, wobei keine der Komplikationen zur Unterbrechung der Gipstherapie führte. Porecha et al. (2011) dagegen beschrieben in ihrer Studie mit 67 Klumpfüßen zwei Druckstellen, die zum Abheilen eine einwöchige Gipsverbandspause notwendig machten. Allerdings war hier – wie auch in vielen anderen Studien – nicht aufgeführt, welches Gipsmaterial verwendet wurde.

Lehman et al. (2003) behandelten strikt nach dem Ponseti-Protokoll und verzeichneten eine Komplikationsrate von 10 % bei der Gipsbehandlung. Smoley (1963) beschrieb die Methode mit traditionellem Weißgips. In diesem Punkt wichen wir vom Originalprotokoll ab und verwendeten den Fiberglasverband Softcast® (3M Medica, Neuss, Deutschland), da wir von Vorteilen, wie einfacherer Handhabung beim Anlegen und Abnehmen des Gipses, sowie geringerem Gipsgewicht und besserer Compliance der Eltern, ausgingen. Coss et al. (1996) wiesen bei einer Patientenanzahl von 17 Kindern signifikante Vorteile des Fiberglasverbandes bezogen auf Beständigkeit, Komfort und Handhabung beim Abnehmen im Vergleich zum Weißgips nach. 94 % der Eltern präferierten den Fiberglasverband gegenüber dem Weißgips. Pittner et al. (2008) untersuchten in einer randomisierten Studie den direkten Vergleich zwischen semi-rigidem Fiberglasverband Softcast® (N = 13) und herkömmlichem Weißgips (N = 18). Hier wurde eine größere Verbesserung im Score nach Dimeglio für die Füße mit einer traditionellen Weißgipsbehandlung gezeigt. Allerdings diskutieren die Autoren eine größere Gesamtzufriedenheit der Eltern beim semi-rigidem Fiberglasverband gegenüber dem Weißgips. Die Studie weist bei geringer Fallzahl gewisse methodologische Schwächen auf. Zum Beispiel wurden Kinder mit unilateralem Klumpfuß eingeschlossen und Kinder mit bilateralem Klumpfuß wurden entweder mittels Fiberglasverband oder Weißgips behandelt. Daher war den Eltern kein direkter Vergleich der zwei Behandlungsmethoden möglich. Zudem ist die randomisierte Zuordnung im Rahmen der Studie unzureichend beschrieben. In Gegenüberstellung zu Pittner et al. (2008) zeigten unsere Patienten im Score nach Dimeglio in der Nachuntersuchung bessere Werte als die der Gruppe, die bei Pittner

et al. (2008) mit traditionellem Weißgips behandelt wurden. Obwohl, die von uns untersuchten Füße vor Behandlungsbeginn einen höheren Score nach Dimeglio erzielt hatten. Ng et al. (2010) wiesen eine gute Zufriedenheit der Eltern bei Behandlung mit semi-rigidem Fiberglasverband nach. Allerdings wurde hier unter Sedierung und in einer speziellen Schaumstoffschale gegipst, sodass als Variable der Behandlung nicht nur das Gipsmaterial zu verstehen ist.

Eine Einschränkung der Interpretierbarkeit der Gipstherapie stellt die Erhebung der Komplikationen durch die alleinige Befragung der Eltern dar, ohne Verifizierung durch medizinischem Fachpersonal. Ein weiterer Kritikpunkt stellt der zeitliche Abstand dar, da die Gipstherapie zum Zeitpunkt der Befragung (während der Nachuntersuchung) schon einige Monate zurücklag. Eine Dokumentation der Komplikationen durch den Therapeuten oder neutrales medizinisches Fachpersonal während der Gipstherapie hätte die Ergebnisse objektivieren können.

Insgesamt kann unsere Gipsverbandtherapie mit dem Softcast®, (3M Medica, Neuss, Deutschland) als erfolgreich eingeschätzt werden – insbesondere unter Berücksichtigung der geringen Rate an Komplikationen, welche zudem von geringer klinischer Relevanz waren. Die Studien von Coss et al. (1996) sowie Pittner et al. (2008) umfassten eine Fallzahl von je höchstens 39 Füßen. Daher wären für die Zukunft Studien mit größerer Patientenzahl, Berücksichtigung der Vertrautheit des Behandelnden mit dem Material – bei Pittner et al. (2008) leider nicht beschrieben – und detaillierter Dokumentation von Komplikationen sowie Compliance der Eltern während der Gipstherapie wünschenswert, um Unterschiede der Gipsmaterialien genauer zu analysieren.

5.3.2. Tenotomie

Ähnlich wie bei Herzenberg et al. (2002) und Eberhardt et al. (2012) wurde bei neun von zehn Klumpfüßen eine Achillotenotomie durchgeführt. Im Vergleich zu weiteren Studien erscheint diese Tenotomierate hoch (70 % (Ponseti 1994), 79 % (Saetersdal et al. 2012), 83 % (Eberhardt et al. 2006), 86 % (Dobbs et al. 2004), 86 % (Bor et al. 2009)). Eine prozentual höhere Anzahl von Achillotenotomien wurde lediglich bei Pulak et al. (2012), Porecha et al. (2011) und bei einer Untergruppe der Studie an der Klinik in Afula, von Bor et al. (2009), durchgeführt.

Scher et al. (2004) zeigten in einer prospektiven Studie, dass die Therapie der Klumpfüße mit einem initialen Pirani Score von fünf Punkten und darüber,

beziehungsweise mit der Bewertung „stiff-stiff“ nach Dimeglio (Dimeglio et al. 1995), mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Achillotenotomie erfordert. Unter Berücksichtigung des durchschnittlichen initialen Pirani Scores von 4,95 erscheint die hohe Tenotomie-rate unserer Patienten nachvollziehbar. Dahingegen erreichten nur neun Füße im Score nach Dimeglio die „stiff-stiff“ Gruppe.

Scher et al. (2004) wiesen nach, dass besonders die Rückfußkomponenten des Pirani Scores die Tenotomie-Wahrscheinlichkeit beeinflussen. Sowohl der Score nach Pirani wie auch nach Dimeglio bewerten die hintere Hautfalte und den Spitzfuß. Beim Score nach Pirani machen diese Komponenten ein Drittel des gesamten Scores aus, im Score nach Dimeglio ist es ein Viertel. Zusätzlich bewertet Pirani im Bezug auf den Rückfuß ebenfalls die „leere Ferse“. Betrachtet man den Pirani Score (Pirani 1995) wird ersichtlich, dass die Rückfußkomponente somit insgesamt die Hälfte der Gesamtpunktzahl des Scores ausmacht. Der Score nach Dimeglio bewertet noch die betroffene Muskulatur, andere Parameter beziehen sich nur bedingt auf die Rückfußkomponenten in der Sagittalebene. Die vergleichbaren Rückfußparameter im Score nach Dimeglio machen damit insgesamt nur 30 % des gesamten Scores aus. Dyer et al. (2006) bestätigten ebenfalls, dass ein hoher initialer Pirani Score eine Achillotenotomie wahrscheinlicher macht, wobei sich die Rückfußkomponente als die dabei entscheidende darstellt. Die – trotz geringer Anzahl in der „stiff-stiff“ Gruppe nach Dimeglio – hohe Anzahl an Achillotenotomien in unserer Studie erscheint somit im Hinblick auf die prädiktiven Faktoren vor allem der Rückfußkomponenten von Scher et al. (2004) und Dyer et al. (2006) nachvollziehbar.

5.4. Diskussion der Ergebnisse

5.4.1. Scores

Im Laufe der Zeit wurde eine große Vielfalt an Klassifikations- und Bewertungsmöglichkeiten für den Klumpfuß entwickelt. Sowohl durch Scores (Beatson et al. 1966, Laaveg et al. 1980, McKay 1983, Atar et al. 1990, Catterall 1991, Dimeglio et al. 1995, Pirani 1995, Pirani S 1999), wie auch anhand nativ radiologischer Aspekte (Herbsthofer et al. 1998, Döderlein 1999), durch Computertomographie (Farsetti et al. 2009), bis hin zu Magnetresonanz-Diagnostik (Downey et al. 1992) und Ultraschalluntersuchungen (Hamel et al. 1996), sogar durch dynamische pedobarographische Messungen (Hee et al. 2001, Sinclair et al. 2009) und

Ganganalysen (Karol et al. 2009) wurden Klumpfüße untersucht und bewertet. Je mehr Untersuchungsmöglichkeiten und Bewertungsregime vorgestellt werden, desto mehr wird von einigen Autoren der Wunsch für ein universelles, weit verbreitetes, akzeptiertes und dadurch vergleichbares Bewertungssystem laut (Flynn et al. 1998, Munshi et al. 2006). Ein solch „ideales Bewertungssystem“ sollte sowohl praktisch und reproduzierbar, wie auch in den klinischen Alltag integrierbar sein (Andriessse et al. 2005; Andriessse et al. 2006). Trotzdem sollte es die Dreidimensionalität des Klumpfußes berücksichtigen und im gesamten Verlauf der Behandlung, sowohl vor Behandlungsbeginn, wie auch während der Therapie und zur Nachuntersuchung anwendbar und damit unabhängig vom Alter des Patienten sein (Cosma et al. 2014). Munshi et al. (2006) kritisierten, dass die vorhandenen Score-Systeme nicht miteinander vergleichbar seien. Auch Flynn et al. (1998) fragten schon 1998 nach einer spezifischen, gut beschriebenen, objektiven Untersuchungsmethode, um die Ausprägung der Deformität zu quantifizieren.

Optimalerweise würde ein solches Bewertungssystem Prognosen über den Behandlungsverlauf zulassen und zu gezielten Anpassungen der Therapie führen (Wainwright et al. 2002).

Da es in der Literatur, wie eingangs beschrieben, bisher keinen Konsens gibt, erhoben wir zur Nachuntersuchung – neben der klinischen Untersuchung – unterschiedliche Scores mit verschiedenen Untersuchungsaspekten, um unsere Ergebnisse mit anderen Arbeiten vergleichbar zu machen und Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten der Scores hervorzuheben.

Die Tatsache, dass die Score-Erhebung lediglich durch einen Untersucher und zu einem Zeitpunkt vorgenommen wurde, stellt eine Limitation dar. Zwar zeigten die meisten Scores eine gute Interuntersucherreliabilität, doch würde die Erfassung durch einen weiteren Untersucher zur Erhöhung der Objektivität beitragen (Flynn et al. 1998, Cosma et al. 2014).

5.4.2. Score nach Pirani und Dimiglio

Der Score nach Pirani sowie der Score nach Dimeglio wurden vor Behandlungsbeginn und bei der Nachuntersuchung erhoben. Die Ergebnisse dieser Längsschnittuntersuchung zeigte für jeden Klumpfuß eine Verbesserung. Da die Resultate der Nachuntersuchung beider Scores im guten Bereich lagen, spiegelten sie nicht nur eine Verbesserung, sondern ein „gutes Ergebnis“ wieder. Der Score nach Pirani (Pirani S 1999) ist laut Dyer et al. (2006) ein verlässlicher, schnell und leicht zu erhe-

bender Score, der eine gute Vorhersage über das zu erwartende Therapieausmaß und die Wahrscheinlichkeit zur Tenotomie (Scher et al. 2004) geben kann. Die bei Eberhardt et al. (2006) initial erhobenen Score-Werte lagen mit durchschnittlich 4,9 Punkten auf vergleichbarem Niveau mit unseren Daten. Die niedrigsten Werte finden sich in der Literatur mit durchschnittlich vier Punkten bei Ford-Powell et al. (2013). Höhere Werte wurden von Lehman et al. (2003), Radler et al. (2013), Saetersdal et al. (2012) bis hin zu im Mittel 5,1 Punkten bei Bor et al. (2009) berichtet. Lehman et al. (2003) zeigten bei 40 Klumpfüßen und einem Nachuntersuchungsalter von zwölf Monaten eine Abnahme des Pirani Scores von 4,6 auf 0,6 Punkte. Im Vergleich dazu lagen die Werte der von uns untersuchten Füße in der initialen Untersuchung höher und bei der Nachuntersuchung niedriger. Somit ergab sich eine größere Punkteverbesserung bei den von uns untersuchten Füßen. Sowohl Cosma et al. (2014), wie auch Flynn et al. (1998) konnten eine gute Interuntersucherreliabilität des Pirani Scores belegen. Cosma et al. (2014) gehen davon aus, dass mit steigender Anzahl der untersuchten Variablen die Abweichungen zwischen einzelnen Untersuchern wächst. Auch diese Aussage spricht für die gute Inter- und Intrauntersucherreliabilität des Pirani Scores, bei lediglich sechs betrachteten Aspekten. Die Interuntersucherreliabilität des Scores nach Pirani sei bei Kindern bis zu einem Alter von 13 Jahren besser, als die des Dimeglio-Scores (Cosma et al. 2014). Außerdem bestehen Vorteile des Scores nach Pirani in einer schnellen und einfachen Durchführbarkeit (Flynn et al. 1998). Dennoch schrieben Wainwright et al. (2002) in einer vergleichenden Untersuchung von vier Klassifikationssystemen, „Catterall“ (Catterall 1991), „Dimeglio“ (Dimeglio et al. 1995), „Harrold“ (Harrold Aj 1983) und „Ponseti und Smoley“ (Smoley 1963) dem Score nach Dimeglio die größte Interuntersucherreliabilität zu. Der Score nach Dimeglio wird ebenfalls häufig zur Nachuntersuchung herangezogen (Macnicol et al. 2000, Lehman et al. 2003, Dobbs et al. 2004, Scher et al. 2004, Souchet et al. 2004, Thacker et al. 2005). Lehman et al. (2003) zeigten bei einem Nachuntersuchungsalter bis zu zwölf Monaten eine Punktabnahme von initial 14,4 auf 4,2 Punkte bei der Nachuntersuchung. Im Vergleich dazu lagen unsere Werte insgesamt auf niedrigerem Niveau bei vergleichbarer Punktabnahme zwischen Initial- und Nachuntersuchungswert. Betrachtet man die Mittelwerte und Mediane des vor Behandlungsbeginn erhobenen Dimeglio Scores von 9,2 Punkten (Radler et al. 2013), 10,3 Punkten (Souchet et al. 2004, Cosma et al. 2014) bis zu 15 Punkten (Abdelgawad et al. 2007), liegen unsere Ergebnisse auf vergleichbarem Niveau. Auf-

fällig ist eine wesentlich breitere Spannweite der Punkteverteilung in den Nachuntersuchungen im Score nach Dimeglio im Vergleich zu den Werten des Pirani Scores (Abdelgawad et al. 2007, Haft et al. 2007, Avilucea et al. 2009, Park et al. 2009, Hemo et al. 2011, Saetersdal et al. 2012, Verma et al. 2012). Genauer betrachtet umfasst die Spannweite der Mittelwerte der einzelnen Studien beim Score nach Pirani lediglich 10 % der Gesamtpunktzahl, beim Score nach Dimeglio umfasst die Spannweite hingegen 29 %. Die Ergebnisse im Score nach Dimeglio zeigen also eine deutlich breitere Spannweite als die Ergebnisse im Score nach Pirani.

Andererseits bleibt bei Betrachtung der unterschiedlichen Score Ergebnisse zu beachten, dass bei 86 % der von uns nachuntersuchten Füße durch den Pirani Score keine Klumpfußdeformitäten mehr nachweisbar waren. Lediglich sechs Füße erhielten in der Nachuntersuchung noch Punkte im Score. Verglichen zu den weit gefächerten Ergebnissen im Score nach Atar oder McKay erscheint die Trennschärfe des Scores nach Pirani insbesondere für milde Ausprägungen des Klumpfußes schwach. Der Score nach Pirani gibt als einziger, der von uns erhobenen Scores, die Ergebnisse nicht als ein qualitatives Ergebnis an.

Zu erwähnen bleibt außerdem, dass Spiegel et al. (2009) generell für Füße von Kindern im Alter von fünf Jahren niedrigere Werte im Pirani Score verzeichneten als bei den ein- bis dreijährigen Kindern. Spiegel et al. (2009) nahmen an, dass der Pirani Score bei älteren Kindern weniger zuverlässig sei, da sich die „hintere Falte“ langsam zurückbildet und sich die „leere Ferse“ – schon aufgrund des beim Wachstum abnehmenden subkutanen Fettgewebes – zurückbilden könnte.

Wie Cosma et al. (2014) konnten auch wir eine hohe Korrelation zwischen dem Score nach Pirani und Dimeglio nachweisen, wenngleich es vereinzelte Ausreißer gab. Zum Beispiel erzielte in unserer Studie Fuß Nr. 32, der im Score nach Dimeglio im Vergleich zum initialen Score die stärkste Verbesserung aufwies, im Score nach Pirani die geringste Verbesserung.

Insgesamt betrachtet lassen die Längsschnitt-Korrelationen des Scores nach Dimeglio sowie auch des Scores nach Pirani darauf schließen, dass ein initial schwerer Klumpfuß auch im Verlauf mit stärkerer Klumpfußdeformität einhergeht. Dies bestätigten auch Nogueira et al. (2009). Sie zeigten, dass Füße die nach Therapie korrigiert waren, initial eine niedrigere Punktzahl im Score nach Pirani erreicht hatten, als Füße die nach Behandlung noch eine Restdeformität aufwiesen.

Sowohl der Score nach Pirani wie auch der Score nach Dimeglio werden in der Literatur als ein gutes Maß für die Klumpfußausprägung angesehen (Flynn et al. 1998). Cosma et al. (2014) empfehlen – aufgrund der guten Korrelation zwischen verschiedenen Untersuchern des Scores nach Pirani und des Scores nach Dimeglio sowie der unterschiedlichen betrachteten Aspekte – die komplementäre Erhebung beider Scores.

5.4.3. Gegenüberstellung der Bewertungssysteme

Ähnlich gut wie im Score nach Pirani werden die Füße unserer Studie beim Score nach Laaveg und Ponseti bewertet. Im Score nach Laaveg und Ponseti wurde den acht Klumpfüßen mit der ausgeprägtesten Bewertung ein „gutes Ergebnis“ vergeben. Dies ist vergleichbar mit anderen Ergebnissen wie bei Porecha et al. (2011), hier erreichten 89 % der Füße „gute“ bis „exzellente“ Ergebnisse. Für den Score nach Laaveg und Ponseti bestehen Studien die einen sehr langen Beobachtungszeitraum von Patienten, behandelt nach der Ponseti-Methode, aufweisen (Holt et al. 2015).

Im Score nach Laaveg und Ponseti lagen alle Füße im „exzellenten“ Bereich der Scores. Auch im Score nach Atar zeigte sich im Mittel ein „exzellentes“ Ergebnis der Füße – und dies trotz Punktabzug bei insgesamt sieben Füßen aufgrund fehlender Auswertbarkeit der Röntgenaufnahmen. Das durchschnittliche Ergebnis des Scores nach McKay fällt im Vergleich deutlich niedriger aus und liegt im Mittel in dem „befriedigenden“ Bereich des Scores. Während also der prozentual größte Anteil der Füße im Score nach Pirani, Dimeglio, Laaveg und Ponseti und Atar jeweils im oberen Bereich lagen, ist auffällig, dass der größte Anteil der Füße im Score nach McKay im Bereich für ein „gutes“ Ergebnis – und somit lediglich in der zweitbesten Gruppe des Scores lagen. Munshi et al. (2006) zeigten die gleichen Unterschiede im Verteilungsmuster zwischen dem Score nach McKay und dem Score nach Laaveg und Ponseti. Eberhardt et al. (2012) zeigten im Score nach McKay durchschnittlich 172 Punkte, was einem „guten Ergebnis“ entspricht, allerdings bei einem Nachuntersuchungsalter von durchschnittlich 6,3 Jahren. Souchet et al. (2004) kritisierten, dass der Einfluss der Schmerzsymptomatik im Score nach McKay zu hoch sei. Holt et al. (2015) konnten in einer vergleichenden Befragung mit Fußgesunden darstellen, dass die Zufriedenheit mit dem Klumpfußergebnis, vor allem bezogen auf Schmerzen, sehr von der allgemeinen Lebenszufriedenheit der Befragten abhängig ist. Allerdings sah Turco (1971) Schmerzen nicht als adäquates Bewertungsmaß bei Kindern an,

da selbst ausgeprägte Deformitäten oft nicht vor dem Erwachsenenalter zu Schmerzen führen. Obwohl im Score nach Atar und im Score nach McKay die klinische Untersuchung und subjektive Einschätzung des Patienten zu fast gleichen Anteilen in die jeweiligen Scores einfließen, fällt bei der Nachuntersuchung eine große Diskrepanz der Ergebnisse auf. Trotz der Tatsache, dass bei sieben Füßen im Score nach Atar aufgrund von nicht auswertbaren Röntgenbildern schon ein Punkteabzug von 10 % der maximal möglichen Gesamtpunktzahl stattfand, zeigte sich im Score nach Atar insgesamt ein wesentlich besseres Ergebnis der Füße.

Im Score nach Dimeglio erreichten die ausgeprägtesten Klumpfüße unserer Studie Grad II („soft-stiff“) der Einteilung. Nach Atar und im Score nach McKay erhielten die zwei Füße mit der stärksten Restdeformität sogar ein „mangelhaftes“, beziehungsweise ein „erfolgloses“ Ergebnis. Die schlechtesten Ergebnisse lagen bei dem Score nach Pirani bei zwei von sechs Punkten. Im Score nach Laaveg und Ponseti wurden die ausgeprägtesten Füße mit einem „guten“ Ergebnis bewertet. Zusammenfassend bewertete der Score nach McKay die Füße insgesamt schlechter, als alle anderen erhobenen Scores. Grund dafür könnte die sehr strenge Bewertung des Scores nach McKay sein, die schon bei einem Punkteverlust von 3 % des Gesamtpunktwertes kein „exzellentes Ergebnis“ mehr vergibt.

Bei näherer Betrachtung wird ersichtlich, dass das „mangelhafte“ und „erfolglose“ Ergebnis im Score nach Atar beziehungsweise im Score nach McKay den gleichen Füßen Nr. 11 und Nr. 12 zukam. In den Scores nach Pirani, Dimeglio und auch Laaveg und Ponseti wiesen diese Füße auch hier die stärkste Klumpfußkomponenten auf, erreichten jedoch trotzdem ein „gutes“ Ergebnis. Die Füße Nr. 11 und Nr. 12 waren in jedem Score die Füße mit den schlechtesten aller erfassten Ergebnisse. Die besten Ergebnisse differierten jedoch in den unterschiedlichen Scores, am ausgeprägtesten im Score nach McKay.

Alle von uns erhobenen Scores zeigten eine Korrelation untereinander. Die positive Korrelation zwischen dem Score nach Pirani und dem Score nach Dimeglio, bei gleichzeitig negativen Korrelation gegenüber der Scores nach Laaveg und Ponseti, Atar und McKay ist auf die Punktesysteme der Scores zurückzuführen: bei den Scores nach Pirani und nach Dimeglio wird ein ausgeprägter Klumpfuß mit hohen Punktzahlen bewertet, in den anderen Scores stellt eine hohe Punktzahl eine geringe Klumpfußdeformität dar. Die signifikante Korrelation aller Scores untereinander lässt zumindest darauf schließen, dass alle Scores eine lineare Beziehung haben. Dies

bedeutet aber nicht, dass sie übereinstimmen (Munshi et al. 2006), wie die zuvor diskutierten individuellen Unterschiede verdeutlichen.

Betrachtet man die Anzahl der durch die Scores bewerteten Aspekte, fällt auf, dass bei McKay und Atar deutlich mehr Aspekte als in den anderen Scores betrachtet werden. McKay und Atar untersuchten zehn Parameter, Dimeglio acht, Laaveg und Ponseti sechs, so wie auch Pirani. So scheint es, dass mit steigender Anzahl der untersuchten Variablen die Ergebnisse differenzierter erscheinen, aber dafür laut Cosma et al. (2014) die Abweichungen zwischen den Untersuchern wachsen. Auch im „Clubfoot Assessment Protocol“ von Andriess et al. (2005) zeigten sich Kappa-Werte von durchschnittlich 0,38 bei der Bewertung von der Fähigkeit zum Rennen in der Betrachtung zwischen unterschiedlichen Untersuchern. Dies führten Andriess et al. (2005) darauf zurück, dass „Rennen“ hier mit vier möglichen Qualitäten bewertet werden kann und bei schneller Bewegung leichte Unterschiede schwerer zu bewerten sind. Der Score nach McKay unterteilt die Schmerzsymptomatik nach Sprunggelenksschmerzen und subtalaren Schmerzen, die jeweils mit vier Möglichkeiten beantwortet werden können. Diese Unterschiede mögen für die jungen, von uns nachuntersuchten Patienten, und deren Eltern schwierig zu erfassen gewesen sein.

Zusammenfassend zeigte die Untersuchung der Klumpfüße mittels der Score-Systeme, dass alle Scores eine lineare Verbindung darstellen, doch in der genauen Bewertung sehr variabel sind, wobei der Score nach McKay bei den von uns untersuchten Scores die größten Unterschiede aufwies.

Der Score nach Pirani und Score nach Dimeglio werden nicht durch die subjektive Einstellung des Patienten beeinflusst. Dadurch sind sie leicht zur Erstuntersuchung beim Säugling anwendbar. Da im Erwachsenenalter vor allem die subjektive Zufriedenheit des Patienten das Ergebnis der Behandlung bewertet (Holt et al. 2015), stellen sie keinen idealen Messwert im Verlauf der Therapie dar. Bei älteren Kindern zeigt sich gerade der Score nach Pirani wenig differenziert. Ein allgemeines und im zeitlichen Verlauf anwendbares Untersuchungssystem des Klumpfußes erscheint im Hinblick auf die hohe Variabilität in den Einzelheiten der Klumpfußtherapie und unterschiedlichen Rezidiv-Behandlungen besonders notwendig (Zhao et al. 2014). Ein solches Untersuchungssystem würde dazu beitragen, die Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen vergleichbar zu machen und in Folge dessen die Klumpfußtherapie nach Ponseti weiter zu präzisieren und zu optimieren.

5.5. Klinische Untersuchung

Im Gesamten betrachtet waren die Ergebnisse der klinische Nachuntersuchung der Füße sehr erfreulich. Es zeigte sich weder eine fixierte Vorfußadduktion noch eine fixierte subtalare Rotation, der Großteil der Füße wies diese Klumpfußerscheinungen nicht einmal in der flexiblen Form auf. Diese Ergebnisse kongruieren mit den Werten von Ponseti (1963) selbst, der bei 77 % der Füße eine vollständige Korrektur der Vorfußadduktion, bei 22 % eine Vorfußadduktion von weniger als 20° und nur bei einem Prozent eine stark ausgeprägte Vorfußadduktion verzeichnen konnte. Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen konnten Munshi et al. (2006) eine Korrelation zwischen der Vorfußadduktion und dem Talus-Metatarsale-I-Winkel in der a.-p. Röntgenaufnahme nachweisen. In unserer Auswertung ließ sich kein Unterschied zwischen den Füßen mit und ohne Vorfußadduktion bezogen auf den Winkel nachweisen. Eine mögliche Erklärung für den Unterschied zwischen unseren Ergebnissen und jenen von Munshi et al. (2006) könnte die unterschiedlich weit fortgeschrittene Ossifikation der Knochen sein. Bei Munshi et al. wurden Kinder von durchschnittlich 4,8 Jahren nachuntersucht, weswegen anzunehmen ist, dass die Knochenform deutlich besser einschätzbar war und sich als Konsequenz präzisere Winkelmessungen ergaben.

Die Limitationen in der Bewertung der klinischen Untersuchung sind vergleichbar mit denen der Score-Erhebung. Auch hier hätte eine Untersuchung durch einen weiteren Untersucher zu einem weiteren Zeitpunkt der Objektivierbarkeit gedient (Andriess et al. 2005).

5.5.1. Dorsalextension / Plantarflexion

In der klinischen Untersuchung erreichten 25 Füße (58 %) eine Dorsalextension entsprechend einem gesunden Fuß. Bei keinem Fuß war eine Dorsalextension von weniger als 10° nachgewiesen, die nach unserem Behandlungskonzept eine Therapieerweiterung erfordert hätte. Die durchschnittliche passiv erreichbare Dorsalextension ist vergleichbar mit anderen Ergebnissen. Betrachtet man die durchschnittliche Dorsalextension in Bezug auf das Alter der Nachuntersuchung findet man in der Literatur 19° bei einem Nachuntersuchungsalter von durchschnittlich 9,1 Monaten bei Eberhardt et al. (2006), 20° bei 26 Monaten (Morcuende et al. 2004), 32° bei 25 Monaten (Herzenberg et al. 2002) sowie 31° bei 26,7 Monaten (Dobbs et al. 2004). Bei deutlich längeren Nachuntersuchungszeiträumen von mehr als fünf

Jahren zeigten Porecha et al. (2011) eine normale Beweglichkeit bei 86 % der Füße. Eine Dorsalextension von $15,9^\circ$, bei einem mittleren Nachuntersuchungsalter von 5,2 Jahren wiesen Radler et al. (2013) nach, $13,9^\circ$ durchschnittliche Dorsalextension zeigten Eberhardt et al. (2012) bei einem Lebensalter von 6,3 Jahren bei der Nachuntersuchung. Bor et al. (2009) veröffentlichten bei 117 Klumpfüßen an zwei Behandlungszentren bei einem mittleren Nachuntersuchungsalter von 6,3 Jahren eine durchschnittliche Dorsalextension von $10,4^\circ$. Bei der Nachuntersuchung von Erwachsenen von im Mittel 34 Jahren zeigten Cooper et al. (1995) eine durchschnittliche Dorsalextension von lediglich 6° . In dieser Studie erreichten die nicht betroffenen Füße bei Patienten mit unilateralen Klumpfüßen eine Dorsalextension von 17° . Bei einem noch längeren Nachuntersuchungszeitraum, mit Patienten von durchschnittlichen 47 Jahren zeigten Holt et al. (2015) eine Dorsalextension von $4,8^\circ$. Bei Klumpfüßen, die zusätzlich im Verlauf, aufgrund eines Rezidivs einen Sehnentransfer des M. tibialis anterior erhalten hatten, waren es nur $3,4^\circ$. Dabei bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zu Klumpfüßen ohne Sehnentransfer. Betrachtet man die oben genannten Studien, fällt eine wesentlich bessere Dorsalextension bei den Studien mit kürzeren Nachuntersuchungszeiträumen auf. Zu beachten ist auch, dass bei den Studien mit einem Nachuntersuchungszeitraum von über fünf Jahren eine Rezidivrate von 28 bis 32 % verzeichnet wurde und infolgedessen meist ein operativer Eingriff notwendig wurde (Bor et al. 2009, Porecha et al. 2011).

In einem Vergleich von Kindern mit frühem Behandlungsbeginn, bis zum 28. Lebensjahr und Kindern mit späterem Behandlungsbeginn konnte Bor et al. (2009) keine Relation zwischen der Beweglichkeit in Dorsalextension und Plantarflexion zum Alter der Patienten bei Erstvorstellung nachweisen. Für die weitere Behandlung von Klumpfüßen wären weitere Studien über prädiktive Faktoren, welche die Dorsalextension beeinflussen, wünschenswert.

Auch die von uns gemessene durchschnittliche Plantarflexion von 37° lag im unteren Bereich der vergleichbaren Literatur mit ähnlichem Patientenalter. Hier sind Werte von durchschnittlich 42° (Eberhardt et al. 2006) bis 54° zu finden sind (Herzenberg et al. 2002). Weitere Ergebnisse liegen innerhalb dieser Werte (Dobbs et al. 2004). Studien mit einem Nachuntersuchungszeitraum von mehr als fünf Jahren zeigten eine etwas eingeschränkte Beweglichkeit bezogen auf die Plantarflexion: zwischen $37,8^\circ$ (Eberhardt et al. 2012), über $44,3^\circ$ bei Bor et al. (2009) bis zu 31° bei Patienten

im Erwachsenenalter von 34 Jahren (Cooper et al. 1995). Bei durchschnittlichem Alter von 47 Jahren wurde eine Beweglichkeit für die Plantarflexion von $43,7^\circ$ gemessen. Insgesamt liegen in unserer Studie elf Füße (25,6 %) unterhalb des Normwertes von 40° (Buckup 2005). Allerdings zeigten nur zwei dieser Füße eine Beeinträchtigung in der Funktion darin, dass kein Zehengang möglich war.

5.5.2. Eversion und Inversion

Im Score nach Laaveg und Ponseti wird in einem Aspekt die Beweglichkeit in anteriorer Inversion und Eversion die volle Punktzahl bei einer Beweglichkeit von 50° vergeben. Baumgartner et al. (2001) sieht bei Kindern eine Eversion von 10° bis 30° und eine Inversion von 20° bis 40° als normwertig an. Auch in der Untersuchung der Eversion und Inversion befinden sich die Füße Nr. 11 und Nr. 12 zwar im Normbereich, erzielen aber, wie auch in den erhobenen Scores die schlechtesten Ergebnisse. Bei Erwachsenen, die in der Kindheit nach der Ponseti-Methode therapiert wurden, lag eine passive Beweglichkeit in Eversion von 13° und in Inversion von 21° vor. Es bestand ein signifikanter Unterschied zu den gesunden Füßen bei unilateralem Klumpfuß. Die gesunden Füße zeigten eine Inversion von 34° (Cooper et al. 1995). Bei Patienten im Alter von 47 Jahren zeigte sich eine Inversion von 21° und eine Eversion von 17° (Holt et al. 2015).

5.5.3. Zehen- und Hackengang

Bis auf die Kinder mit den Füßen Nr. 17 und Nr. 18 war es allen Kindern möglich, auf den Zehenspitzen zu gehen. Die beiden oben genannten Kinder gehörten mit 18 Monaten zu den jüngeren der Nachuntersuchung. Nur rund ein Viertel der Kinder war in der Lage auf den Hacken zu gehen. Laaveg et al. (1980) berichteten in ihrer Studie, die 104 Patienten einschloss, mit rund 76 % einen deutlich höheren Anteil derer, die zum Hackengang fähig waren. Allerdings handelte es sich um ein deutlich älteres Patientenkollektiv mit einem durchschnittlichen Alter von 18,8 Jahren bei der Nachuntersuchung. In einer Studie mit einem mittleren Nachuntersuchungsalter von 34 Jahren konnten alle Patienten den Zehengang durchführen, der Hackengang war bei drei von 71 Patienten auf Grund einer reduzierten Dorsalextension nicht möglich (Cooper et al.). Bei einem Nachuntersuchungsalter von 47 Jahren konnten zehn Patienten von 35 Patienten den Hackengang nicht durchführen, bei sechs von ihnen

war zusätzlich ein M. tibialis anterior Sehnentransfer durchgeführt worden. Ein Patient dieser Studie konnte nicht auf den Zehen gehen (Holt et al. 2015). Die Fähigkeit zum Hackengang ist durchweg stärker beeinträchtigt als die zum Zehengang, was auf die Spitzfuß-Komponente des Klumpfußes zurückzuführen ist.

Im Denver-Developmental-Screening-Test (Frankenburg 1969) wird bei Kindern ab dem 45. Lebensmonat die Fähigkeit zum Zehen- und Hackengang vorausgesetzt. Auch in den obligatorischen Vorsorgeuntersuchungen für Kinder in Deutschland wird der Hacken- und Zehengang erst in der „U8“, also im Alter von 46 bis 48 Monaten, untersucht (Mayatepek 2008). In dem von Andriess et al. (2006) entwickelten „Clubfoot Assessment Protocol“ fließen Zehen- und Hackengang erst ab einem Alter von drei Jahren ein. Aufgrund der niedrigen Fallzahl der Kinder, die nicht zum Zehengang fähig waren, wurde eine statistische Auswertung hinsichtlich eines möglichen Einflusses des Alters nicht durchgeführt. Im Vergleich zwischen Kindern die zum Hackengang fähig waren und jenen die nicht zum Hackengang fähig waren, zeigte sich jedoch ein hochsignifikanter Altersunterschied. Bei unserem durchschnittlichen Nachuntersuchungsalter von 27,67 Lebensmonaten gehen wir daher davon aus, dass die Fähigkeit zum Hackengang in unserer Untersuchung maßgeblich vom Alter der Kinder beeinflusst wurde. Daher erscheint es sinnvoll, den Hackengang nicht für die Bewertung der Klumpfußtherapie in dieser Altersklasse heranzuziehen.

Betrachtet man die von uns eingesetzten Scores, fällt auf, dass sowohl der Score nach Atar (Atar et al. 1990), wie auch der Score nach Laaveg und Ponseti (Laaveg et al. 1980) den Zehen- und Hackengang in die Wertung mit einfließen lassen. Auch McKay (McKay 1983) bewertet den Zehengang, hier ist für eine volle Punktzahl sogar der einbeinige Zehengang durchzuführen. In Bezug auf standardisierte pädiatrische Untersuchungen und den Denver-Developmental-Screening-Test (Frankenburg 1969) bleibt zu diskutieren, ob diese Scores für Kinder unter 45 Monaten durchzuführen sind, oder wie bei Andriess et al. (2005), die Untersuchungen dem Alter der Kinder angepasst werden sollten.

5.6. Analyse der Podographenauswertung

Die podographische Messung zeigte keinen Unterschied zwischen den Klumpfüßen und den gesunden Füßen der Patienten mit unilateralem Klumpfuß. Cooper et al. (1995) konnten ebenfalls keinen Unterschied in einer pedobarographischen Analyse zwischen dem Klumpfuß und gesunden Füßen bei unilateralem Klumpfuß feststellen,

lediglich bei den Teilbereichen der Ferse und dem Spitzendruck. Auch konnten hier keine Beziehungen der Unterschiede der pedobarographischen Messung zu dem klinischen Ergebnis festgestellt werden.

Andere Ergebnisse im direkten Vergleich zum gesunden Fuß zeigten dahingegen einen erhöhten Druck im medialen Vorfuß- und lateralen Mittelfußbereich (Church et al. 2012). Allerdings zeigten Favre et al. (2007), dass bei einer pedobarographischen Untersuchung von Patienten mit unilateralem Klumpfuß der gesunde Fuß ebenfalls ein asymmetrisches Gangmuster aufweist. Demnach wäre eine Gruppe von Kindern mit gesunden Füßen notwendig, um einen adäquaten Vergleich anzustellen. Hutchinson et al. (2001) zeigten, dass Patienten im Stehen den plantaren Druck umverteilen und so kompensieren können, dies könnte Untersuchungen verfälschen. Sie nahmen an, dass eine solche Kompensation durch Befunderhebungen im Gehen minimiert werden könnte.

Auch in unseren Berechnungen ließ sich keine signifikante Korrelation zu den Röntgenaufnahmen oder Scores der Nachuntersuchung darlegen, daher dient die Untersuchung in unseren Augen nicht zur vergleichenden Nachuntersuchung oder Quantifizierung der Klumpfußausprägung. Dennoch lässt sich durch die Untersuchung mittels Podographie eine eventuelle Fehlbelastung der Füße leicht erkennen (Krauspe R. 2006). Gerade bei jüngeren Kindern, bei denen noch nicht von einer vermehrten Hornhautbildung in belasteten Bereichen der Fußsohle auszugehen ist, können die Belastungszonen durch die Podographie aufgezeigt werden. Eine Quantifizierungsmethode konnten wir aber durch den prozentual belasteten Anteil der Fußsohle nicht nachweisen.

5.6.1. Limitationen der Podographenauswertung

Die Podographenauswertung beinhaltet zum einen die Limitation von nur jeweils einem Bild, das zur Messung diente. Zum anderen wurden die Messungen auch nur von einem Untersucher vorgenommen. Zwar wurde jede Messung dreimalig erhoben, doch hätte die Erhebung durch einen anderen Untersucher die Ergebnisse objektivierbarer gemacht. Ein anderer Kritikpunkt ist die kleine und nur von Kindern mit unilateralem Klumpfuß bezogene Kontrollgruppe. Insbesondere da Nachweise zu finden sind, die daraufhin deuten, dass bei unilateralem Klumpfuß auch der gesunde Fuß Unregelmäßigkeiten zeigt (Cooper et al. 1995). Da sich gerade bei jungen Patienten eine Auswertung von pedobarographischen Untersuchungen schwierig

gestaltet (Sinclair et al. 2009) wählten wir die Podographie, mit dem Vorteil die Kinder im Stehen statt im Gehen zu beurteilen. Allerdings zeigte Hutchinson et al. (2001), dass Patienten im Stehen den Druck kompensieren und umverteilen können, was beim Laufen nicht möglich wäre.

5.7. Schienentherapie

Die Analyse der Schienentherapie zeigte, dass nur bei einem Viertel der Klumpfüße keine Komplikationen auftraten. Dennoch war, abgesehen von einem Fuß, keine weitere Therapie aufgrund der Komplikationen notwendig. Bei fünf Füßen wurde durch eine Umstellung des Schientyps eine höhere Zufriedenheit erreicht. Dennoch erfolgte bei einem Patient trotz Änderung des Schientyps ein frühzeitiger Abbruch der Schienentherapie.

5.7.1. Compliance

In der Literatur zur Ponseti-Therapie findet sich kein einheitliches Protokoll der Schienentherapie. Ponseti (1994) fordert das Tragen der Fußabduktionsschiene, in diesem Fall der „Dennis-Brown-Schiene“, ganztägig für drei Monate und anschließend jeweils nachts für zwei bis vier Jahre. Einige Behandlungszentren halten sich an dieses originale Schienenprotokoll (Herzenberg et al. 2002, Sud et al. 2008). Daneben finden Behandlungsschemata Anwendung, die nur eine Schienenbehandlung bis zum zweiten Lebensjahr vorsehen (Segev et al. 2005, Haft et al. 2007, Richards et al. 2008). Andere Therapeuten wiederum empfehlen die Behandlung bis mindestens zum dritten Lebensjahr (Abdelgawad et al. 2007, Park et al. 2009, Hemo et al. 2011, Park et al. 2012). Ippolito et al. (2003), Janicki et al. (2011) sowie Panjavi et al. (2012) beenden, wie auch unsere Klinik, die Schienentherapie erst nach dem vierten Lebensjahr. Es finden sich sogar Therapieregime mit einer Schienentragezeit bis zum fünften Lebensjahr (Porecha et al. 2011).

In der Literatur findet sich keine einheitliche Definition der Compliance der Schienenbehandlung. Dieser Umstand wird auch in der Literatur kritisiert (Saetersdal et al. 2012). Aufgrund der unterschiedlichen Definitionen sind auch die veröffentlichten Compliance-Werte, im Bereich von 39 % (Richards et al. 2008) bis zu 93 % (Saetersdal et al. 2012), sehr differenziert zu betrachten.

Es finden sich nicht nur unterschiedlichste Auslegungen in der Empfehlung sondern auch in der Schienenbehandlung-Compliance. Beispielsweise sahen Morcuende et al. (2004) eine Schienentragezeit von unter zehn Stunden täglich als nicht ausreichend an. Park et al. (2012) differenzierten zwischen den beiden Phasen der Schientherapie. Hier wurde in den ersten drei Monaten eine Schienenanwendung von weniger als zwölf Stunden, danach von weniger als vier Stunden pro Tag als non-compliant eingestuft. Abdelgawad et al. (2007) forderten sogar 23 Stunden in den ersten drei Monaten, gaben aber für die Folgezeit keine exakte Stundenzahl an. Sie erwarteten das Tragen der Schiene bis zum vierten Lebensjahr. Compliance besteht laut der Definition der Autoren aber schon ab einer Tragezeit von drei Jahren. Haft et al. (2007), Bor et al. (2009), wie auch Panjavi et al. (2012) erwarteten eine Vollzeitschientherapie in den ersten drei Monaten, danach wurden mindestens neun Monate während den Schlafenszeiten erwartet, um als compliant zu gelten. Bei Thacker et al. (2005) galten die gleichen Kriterien, doch wurde die täglich Tragezeit spezifiziert. Die Autoren forderten mindestens acht Stunden Schienentragezeit in den neun Monaten der Phase II. Nach dieser Definition von Thacker et al. führten wir eine Einteilung in eine „Compliance“ und „Non-Compliance“ Gruppe durch. Es zeigte sich ein deutlicher Unterschied der Compliance-Werte im Vergleich zu anderen Studien, trotz vergleichbarer Definition der Compliance. So berichteten Haft et al. (2007) eine Compliance-Rate von 51 % bei einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 35 Monaten. In der Studie von Bor et al. (2009) lag die Compliance bei 48 % bei einem Nachuntersuchungsalter von 6,3 Jahren. Bei Panjavi et al. (2012) betrug die Compliance 76,7 % bei einem Nachuntersuchungsalter von durchschnittlich 24,7 Monaten. Auch Thacker et al. (2005) berichteten eine hohe Compliance von 70 % bei einem Nachuntersuchungsalter von 11,3 Monaten. In unseren Befragungen waren nach dieser Definition die Kinder von 74,4 % der Klumpfüße compliant. Im Vergleich zu den bereits genannten Ergebnissen lag dieser Wert im oberen Bereich. Während der Behandlung und Wiedervorstellung in unserer Klinik wurde großer Wert auf die wiederholte Aufklärung der Eltern über die dringende Notwendigkeit der Schientherapie gelegt. Dies ist in unseren Augen ein wichtiger Faktor, um eine möglichst hohe Compliance zu erzielen.

In unseren Berechnungen zeigte sich lediglich ein signifikanter Unterschied im antero-posterior gemessenen Talokalkanearwinkel zwischen der „Compliance“ und „Non-Compliance-Gruppe“. Die Kinder der Non-Compliance-Gruppe hatten zwar

einen signifikant kleineren Talokalkanearwinkel, doch lagen die Mittelwerte beider Gruppen noch im Normbereich. Beim Score sowie der Punktabnahme des Scores nach Pirani und Dimiglio zeigten sich im zeitlichen Verlauf keine Unterschiede zwischen der „Non-Compliance“ und „Compliance-Gruppe“. Thacker et al. (2005) berichteten hingegen eine signifikante Verbesserung der Compliance-Gruppe und eine signifikante Verschlechterung der Non-Compliance-Gruppe im Score nach Dimeglio. Ein Grund für diese differenten Ergebnisse könnte das unterschiedliche Alter bei der Nachuntersuchung sein. Durchschnittlich waren die von uns nachuntersuchten Patienten mehr als ein Jahr älter als bei Thacker et al. (2005). Aufgrund der Definition der Compliance, die nur eine Schienentragezeit von insgesamt zwölf Monaten vorsieht, fielen in unserer Untersuchung Patienten, welche die Schienentherapie zwar vor dem vollendeten vierten Lebensjahr, doch erst nach den verlangten zwölf Monaten unterbrochen haben, in die Compliance-Gruppe, obwohl sie die Schienentherapie eventuell schon vor mehreren Monaten abgebrochen hatten. Bei Thacker et al. (2005) lag das durchschnittliche Nachuntersuchungsalter der Compliance-Gruppe bei 11,3 Monaten und das der Non-Compliance-Gruppe bei 8,8 Monaten. Folglich trugen alle Patienten der Compliance-Gruppe zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung die Schiene noch. Bei einem hypothetischen späteren Nachuntersuchungstermin würden Patienten, welche die Schienentherapie nach mindestens zwölf Monaten beendet hätten, trotzdem in die Compliance-Gruppe zählen, obwohl sie bei einem Alter von beispielsweise drei Jahren die Schiene schon zwei Jahre nicht mehr trügen. Somit würden Kinder, welche die Schiene drei Jahre tragen genauso als compliant zählen, wie Kinder welche die Schiene zwölf Monate getragen hatten und sie seit zwei Jahren nicht mehr tragen. Hier widersprechen sich Empfehlung und Compliance-Definition, sodass dies zur Verunreinigung der Werte führen könnte. Dies kann in unseren Augen bei dieser Definition der Non-Compliance und einem älteren Patientenkollektiv zu unerwünschten Fehlbewertungen führen. Letztendlich bleibt zu hinterfragen, warum von einigen Autoren eine längere Schienentragezeit gefordert wird, als erreicht werden muss, um als compliant zu gelten (Thacker et al. 2005, Haft et al. 2007, Panjavi et al. 2012).

Aufgrund der zu Grunde liegenden Problematik, dass Kinder unterschiedlichen Alters nachuntersucht werden und sich demnach in verschiedenen Behandlungszeiträumen der Schienentherapie befinden, berechneten wir die „individuelle Schienentragezeit“. Anhand der Angaben der Eltern über die tatsächlich getragene Zeit wurde der

individuelle Prozentsatz der erbrachten zur geforderten Schienentragzeit für jedes Kind ermittelt. Ziel dieser Berechnung war es, die Compliance genauer darzustellen und dabei die oben beschriebene Problematik zu berücksichtigen. Ein Kind, das beispielsweise bei der Nachuntersuchung 24 Monate alt war und die Schienentherapie nur bis zum 15. Lebensmonat durchführte, wäre nach Haft et al. (2007), Bor et al. (2009), Panjavi et al. (2012) und Thacker et al. (2005) compliant, obwohl dieses Kind seit zehn Monaten – entgegen der Empfehlung – keine Schienenbehandlung mehr erhielt. Nach unserer Berechnung der individuellen Schienentragzeit, hätte das Kind, wenn es, nach der Gipstherapie, zum dritten Lebensmonat die Schienentherapie begonnen hätte bis zum 14. Lebensmonat, die Schiene 23 Stunden in Phase I und 8 Stunden in Phase II getragen hätte, die Schiene insgesamt für 4230 Stunden getragen. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Alter von 24 Monaten wären aber insgesamt 6630 Stunden empfohlen gewesen. Somit hätte das Kind zu diesem Zeitpunkt nur 63,8 % der empfohlenen Gesamtstundenzahl zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung absolviert. Setzt man den Wert eines Kindes, das die Schiene bis zum dritten Lebensjahr trägt als Mindestwert an, wäre das Kind mit 63,8 % als non-compliant einzustufen. Unser Ansatz der „individuellen Schienentragzeit“ berücksichtigt das Alter bei der Nachuntersuchung, die pro Tag getragene Stundenzahl sowie die Zeit seit Therapieabbruch.

Es lag ein signifikanter Unterschied der prozentuale Schienentragzeit ($p = 0,002$, T-Wert 3,926) zwischen Kindern, welche die Schienentherapie abgebrochen hatten und jenen, die der Empfehlung folgten, vor. In Bezug auf die Röntgenbilder lag lediglich eine positive Beziehung der individuellen Schienentragzeit zum Talokalkanearwinkel der antero-posterioren Röntgenaufnahme vor ($p = 0,030$; $R = 0,373$). Das spricht für eine Verbesserung des Winkels bei der Schienen-Compliance. Hinsichtlich der anderen Winkel der radiologischen Aufnahmen und der Ergebnisse der Scores zeigte sich keine Korrelation zur individuellen Schienentragzeit. Dies könnte einerseits mit dem geringen Nachuntersuchungsalter unserer Patienten zusammenhängen, sodass der Abbruch der Schienentherapie bei der Nachuntersuchung noch nicht lang genug zurück lag. Dann ist der prozentuale Anteil der Schienentragzeit noch vergleichsweise hoch. Im Verlauf bis zum vierten Lebensjahr wäre aber, bei weiterem Nicht-Tragen der Schiene, mit deutlicher Abnahme der individuellen Schienentragzeit zu rechnen. Andererseits war die Gruppe der Schienenabbrüche eher klein und die Ergebnisse der Scores waren einheitlich im guten Bereich, sodass die

wenigen nicht guten Ergebnisse eventuell nicht ausreichend für eine statistische Auswertung waren.

Bei zunehmendem Alter der von uns untersuchten Kinder ist mit einer Zunahme der Rezidivrate zu rechnen (Laaveg et al. 1980, McKay et al. 2012). Letztendlich ist nicht bei allen Patienten, welche der Schienentherapie-Empfehlung nicht nachkommen, mit einem Rezidiv oder einer Verschlechterung zu rechnen (Dobbs et al. 2004, Thacker et al. 2005). Somit gehen wir davon aus, dass sich eine Signifikanz der „individuellen Schienentragzeit“ verglichen zu anderen Compliance-Definitionen erst bei einem älteren Patientengut und eventuell höherer Fallzahl sowie größerer Rezidivrate deutlicher zeigen könnte.

Einige Studien zeigten eine bessere Compliance für einseitige Schienen, ohne die verbindende Querstange (Saetersdal et al. 2012). Jedoch ist die Patientenzahl der Daten dieser neuen Schienenmodelle noch nicht so groß und deren Langzeitergebnisse noch ausstehend, sodass bei uns weiterhin ein zweiseitiges Modell präferiert wird.

5.7.2. Rezidive

Die Erfolge der Schienentherapie, mit den bereits dargestellten unterschiedlichen Definitionen der Compliance, werden in der Literatur meist an den auftretenden Rezidiven festgemacht. Ein Klumpfußrezidiv wird in der Literatur allerdings unterschiedlich definiert. Die Definitionen reichen von „Wiederkehren einer Klumpfußkomponente“ (Panjavi et al. 2012) bis zur „Notwendigkeit der operativen Behandlung“ (Haft et al. 2007). In unserem Patientenkollektiv war bei zwei Füßen (4,7 %) eine erneute Operation im Sinne einer Re-Tenotomie notwendig, die Kinder dieser Füße folgten unserer Empfehlung der Schienentherapie, waren also compliant. Aufgrund der geringen Rezidivanzahl, verzichteten wir auf statistische Auswertungen. Die niedrige Anzahl der Rezidive könnte zumindest teilweise auf das geringe Nachuntersuchungsalter zurückführbar sein. Bei Thacker et al. (2005) mussten 57 % der, in der Schienentherapie non-compliant Patienten, erneut mit Gipsen, Re-Tenotomien oder Achillessehnenverlängerungen behandelt werden. Haft et al. (2007) zeigten, dass der Faktor Compliance in der Schienentherapie die größte Risikoreduktion eines Rezidivs darstellt. Patienten, die Non-Compliance in der Schienentherapie aufwiesen, hatten ein fünfmal höheres Rezidivrisiko. Nach initialer Korrektur wiesen Morcuende et al. (2004) eine zehnpromtente Rezidivrate nach. Hier wurde sogar ein

17-fach höheres Risiko bei Non-Compliance in der Schienentherapie beschrieben, Dobbs et al. (2004) gaben sogar ein 183-fach erhöhtes an. Panjavi et al. (2012) zeigten bei einem mittleren Nachuntersuchungsalter von 24,7 Monaten eine Rezidivrate von 18,6 %, die ebenfalls signifikant mit der Schienen-Compliance korrelierte. So einig sich die Autoren mit dem Einfluss der Compliance in der Schienentherapie auf die Rezidivrate zeigen (Smoley 1963, Richards et al. 2008, Bor et al. 2009, Porecha et al. 2011), so different findet sich die Datenlage bezogen auf andere Zusammenhänge mit dem Aufkommen von Klumpfußrezidiven.

Einige Studien konnten keinen Zusammenhang mit dem Alter bei Behandlungsbeginn oder der Anzahl der Gipse (Morcuende et al. 2004) nachweisen. In anderen Artikeln finden sich signifikante Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Rezidiven, der Anzahl der Gipse und Ausprägtheit der Klumpfußdeformität (Panjavi et al. 2012). Ein zehnfach erhöhtes Risiko für ein Rezidiv war nachweisbar, wenn der Ausbildungsstand der Eltern einem Highschool-Abschluss oder darunter entsprach (Dobbs et al. 2004).

Zusammengefasst besteht trotz Uneinigkeit über Empfehlungen der Schienentherapie sowie unterschiedlichen Definitionen von Compliance und Rezidiven, eine klare Aussage über die Notwendigkeit und Wirkung der Schienentherapie. Die adäquate Durchführung der Schienentherapie stellt ein großes Problem der Klumpfußtherapie dar und ist ein sehr wichtiger Faktor für die Vermeidung von Rezidiven. Daher bedarf es immer wieder der Aufklärung der Eltern durch die Behandelnden über die dringende Notwendigkeit der Schienentherapie (Saetersdal et al. 2012).

Die „individuelle Schienentragzeit“ quantifiziert die Compliance in der Schienentherapie. Sie bietet so die Möglichkeit von genaueren und aussagekräftigeren Auswirkungen der Non-Compliance und Optimierung von Empfehlungen.

5.7.3. Limitationen der Schienentherapieauswertung

Die größte Limitation in der Bewertung der Schienentherapie dürfte die Erfassung der täglichen Tragedauer durch die Befragung der Eltern darstellen. Zum einen erfolgte diese teilweise in deutlichem zeitlichen Abstand, zum anderen kann das Phänomen der „sozialen Erwünschtheit“ eine Rolle spielen, da den Eltern die Erwartung der täglichen Tragezeit – durch die mehrmals erfolgten Aufklärungen – bekannt war. Die Befragung erfolgte durch einen anderen als den behandelnden Arzt, um eine wahrheitsgetreue Aussage der Eltern zu erleichtern. Zudem wurden die Eltern

über die, für Studienzwecke, dringende Notwendigkeit der wahrheitsgetreuen Angaben aufgeklärt. Dennoch stellt die Erhebungsform durch Befragung der Eltern eine deutliche Limitation dar.

Beim Großteil der Patienten war die Schienentherapie zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch nicht beendet. Somit lassen die Daten keine abschließende Aussage über die Schienentherapie und deren Wirkung zu, da es sich um eine Interimsanalyse handelt.

Für eine objektive und ubiquitäre Auswertung der Schienentherapie, die in der Folge zur Optimierung der Klumpfußtherapie nach Ponseti führen könnte, werden weitere Studien benötigt, welche die Ausprägung der Klumpfüße vor der Schienentherapie, die genauen Schienenmodelle und die Tragezeit festhalten. Leider war eine statistische Auswertung der von uns berechneten „individuellen Schienentragzeit“ bezogen auf die Rezidivrate, aufgrund der erfreulich geringen Rezidivanzahl nicht möglich. Da mit weiterem Wachstum eine Zunahme der Rezidivrate zu rechnen ist (McKay et al. 2012), sollten unsere Patienten nach einem längerem Nachuntersuchungszeitraum erneut untersucht und die Rezidivrate in Beziehung mit der Schienen-Compliance, insbesondere der „individuellen Schienentragzeit“, gebracht werden.

In den bisher aufgelisteten Studien erfolgte die Quantifizierung der Tragezeit der Schienen durch Befragung der Eltern, wie auch in unserer Untersuchung. Zur wirklichen Quantifizierung der genauen Schienentragzeit wäre eine objektive Messung wünschenswert. Herring (2014) untersuchten die Compliance bei Korsettbehandlungen mittels, in das Korsett integrierten Wärmesensoren, deren Datenspeicherung bei klinischen Vorstellungen ausgewertet werden konnten. Mit solchen Sensoren ausgestattet, könnten die Schienenschuhe die tatsächliche Tragezeit aufzeichnen. Dies würde allerdings, gerade bei wachsenden Kindern und wachsenden Füßen, ein nicht unerheblicher Kostenfaktor für zukünftige Studien sein, der jedoch die Qualität der Daten deutlich verbessern würde.

5.8. Evaluation der radiologischen Befunde

5.8.1. Talokalkanearwinkel in der antero-posterioren Röntgenaufnahme

In der Literatur liegen unterschiedliche Einschätzungen der Winkelmaße vor. So liegen die von uns gemessenen Werte für den Winkel zwischen Talus und Kalkaneus im antero-posterioren Röntgenbild – in Anlehnung an die Normwerte von Beatson et al. (1966) – im Wertebereich von gesunden Kindern. Nach Simons (1977) lagen aber fünf der von uns nachuntersuchten Klumpfüße aufgrund eines Winkels von unter 20° im Klumpfuß-Bereich, hier bestand demnach ein Rückfuß-Varus (Laaveg et al. 1980, Döderlein 1999). In Röntgenaufnahmen, die drei Wochen nach Tenotomie erhoben wurden, zeigten nur zwei von 87 Füßen a.-p. Talokalkanearwinkel kleiner 15° (Radler et al. 2007). Cooper et al. (1995) untersuchten ein deutlich älteres Patientenkollektiv von im Mittel 34 Jahren und somit vollständig ossifizierten Knochen. Hier wiesen sie einen signifikant verminderten a.-p. Talokalkanearwinkel um durchschnittlich 6° im Vergleich zu den gesunden Füßen bei Patienten mit einseitigem Klumpfuß nach. Lourenco et al. (2007) ermittelten bei einem mittleren Nachuntersuchungsalter von 19 Monaten einen durchschnittlichen Winkel von $29,2^\circ$. Bei älteren Patienten lag der, in der Nachuntersuchung gemessene, a.-p. Talokalkanearwinkel mit 17° im Bereich eines Rückfuß-Varus (Cooper et al. 1995). Holt et al. (2015) zeigten bei Patienten mit einem mittleren Alter von 47 Jahren einen Talokalkanearwinkel in der a.-p. Aufnahme von durchschnittlich $13,1^\circ$ bei 35 Klumpfüßen. Sie verglichen zudem zwei Gruppen, wobei eine Gruppe zusätzlich mit einem M. tibialis anterior Sehnentransfer behandelt worden war, diese zeigte mit durchschnittlich $11,04^\circ$ einen signifikant niedrigeren Wert im Vergleich zur Gruppe ohne Sehnentransfer. Es fällt auf, dass gerade bei älteren Patientenkollektiven – bezogen auf die Auswertungen der Röntgenaufnahmen – im Mittel ein Rückfuß-Varus vorliegt. Nach Simons (1977) liegt bei diesen Patienten eine pathologische Inversion des Os naviculare vor, ein normwertiger Talokalkanearwinkel hingegen schließt diese Fehlstellung aus.

Bezogen auf den talokalkanearen Winkel im antero-posterioren Strahlengang war in unseren Untersuchungen, wie auch bei Laaveg et al. (1980), keine Korrelation mit den Scores der Nachuntersuchung nachweisbar.

5.8.2. Talokalkaneareinkel in der lateralen Röntgenaufnahme

Die kleinsten von uns gemessenen Werte des Talokalkaneareinkels im lateralen Röntgen lagen im Wertebereich der für KlumpfüÙe angegeben wird (Beatson et al. 1966). Demnach erreichten elf FüÙe Werte, die pathognomonisch für einen Klumpfuß sind. Insgesamt lagen aber schon 30 FüÙe unterhalb des Normwertbereichs eines Kinderfußes von 35° bis 50° (Simons 1977). Auch der Mittelwert der von uns gemessenen Winkel fiel unter diesen Normbereich. Radler et al. (2007) zeigten zwar im Mittel 10° größere Talokalkaneareinkel in der lateralen Röntgenaufnahme, allerdings handelte es sich hier um ein deutlich jüngeres Patientenkollektiv, deren Röntgenaufnahmen innerhalb der ersten drei Wochen nach Achillotenotomie angefertigt worden waren. Lourenco et al. (2007) ermittelten bei zwölf FüÙen und einem durchschnittlichen Alter von 19 Monaten einen lateralen Talokalkaneareinkel von 29,6°, sehr ähnlich unserem Mittelwert. Auffällig ist, dass dieser direkt nach Tenotomie bei 36° lag und dann im Verlauf wieder deutlich abgenommen hatte (Morcuende et al. 2004). Allerdings zeigten Church et al. (2012) bei deutlich älteren Kindern von durchschnittlichen 6,3 Jahren, bei nach Ponseti behandelten KlumpfüÙen, durchschnittlich einen Talokalkaneareinkel von 33°. Bei Cooper et al. (1995) lag der Talokalkaneareinkel der KlumpfüÙe im lateralen Röntgenbild bei Patienten von durchschnittlich 34 Jahren im Mittel bei 30° und damit nach Döderlein (1999) im Normbereich für Erwachsene.

Auch Holt et al. (2015) zeigten bei einem Nachuntersuchungsalter von 47 Jahren einen lateralen Talokalkaneareinkel im Normbereich für Erwachsene (Döderlein 1999) von 30,6°. In der Gesamtheit betrachtet liegen alle Mittelwerte dieser Studien im ähnlichen Bereich. Interessanterweise scheint es, dass bei älteren Patientengruppen tendenziell größere Winkel gemessen werden. Eine genauere Messung bei vollständig ossifizierten Knochen könnte aus unserer Sicht zur genaueren Messbarkeit und dadurch zu genaueren und eventuell besseren Messergebnissen führen. Durch unterschiedliche Normwerte für Kinder und Erwachsene (Döderlein 1999) liegen die Ergebnisse bei Erwachsenen Patienten dann oft im Normbereich.

Laaveg et al. (1980) konnten eine signifikante Beziehung mit ihrem Score und dem Talokalkaneareinkel in der lateralen Röntgenaufnahme nachweisen. Dies bestätigten auch unsere Berechnungen, sowohl durch eine signifikant positive Korrelation, wie auch in der Untersuchung auf Unterschiede im Gruppenvergleich. Hier zeigte sich eine signifikante Differenz zwischen der Gruppe, die in der Messung des Talo-

kalkaneerwinkel im Klumpfußbereich lagen und jener Füße, die größere Winkel aufwiesen. So zeigte sich, dass die im lateralen Talokalkaneerwinkel als Klumpfuß eingestuft Röntgenbilder im „guten“ Bereich nach Laaveg und Ponseti lagen und die Füße mit Werten über 25° im lateralen talokalkaneeren Winkel in den „exzellenten“ Bereich des Scores fielen. Im Gegensatz dazu konnten Kumar et al. (1993) keine Korrelation zwischen dem lateral gemessenen Talokalkaneerwinkel und dem Score nach Laaveg und Ponseti nachweisen. Turco (1971) beschrieb den talokalkaneeren Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme als die präzisere Messgröße für die Klumpfußkorrektur.

5.8.3. Talokalkaneerer Index

Beatson et al. (1966) zeigten schon sehr früh bei 200 Füßen von gesunden Kindern Talokalkaneerwinkel im lateralen Röntgenbild von 15° bis 55° . In den Röntgenbildern von Kindern mit Klumpfüßen ermittelten sie Werte von -5° bis 40° . Im anteroposterioren Strahlengang ermittelten sie talokalkaneere Winkel bei gesunden Füßen von 10° bis 50° bei Klumpfüßen von 0° bis 55° . Beatson et al. zeigten damit, dass sowohl beim talokalkaneeren Winkel in der lateralen, wie auch in der anteroposterioren Projektion, die Überlappung der Normwerte von gesunden Füßen und Klumpfüßen sehr groß sind. Die Summe der beiden Winkel für den jeweiligen Fuß lag allerdings bei Klumpfüßen zwischen 0° und 55° und bei gesunden Füßen zwischen 40 und 85° . Betrachtete man also die Summe der beiden Werte, die von Beatson et al. als „talokalkaneerer Index“ bezeichnet wurde, wurden die Unterschiede zwischen Klumpfüßen und gesunden Füßen deutlich. Beatson et al. (1966) konnten zeigen, dass von 147 Klumpfüßen nur zehn Füße einen Index über 40° erreichten, gleichzeitig war aber bei keinem der 200 gesunden Füße ein Index von unter 40° zu ermitteln. Daher sahen Beatson et al. (1966) einen talokalkaneeren Index von 40° als Grenzwert zwischen einem normwertigen und einem Klumpfuß.

Die niedrigsten Werte des von uns berechneten talokalkaneeren Index lagen deutlich im Bereich der Werte für einen Klumpfuß, drei Füße fielen unter die Marke von 40° , die größten von uns berechneten Indizes entsprachen einem gesunden Fuß. Der von uns ermittelte Mittelwert des Index lag deutlich über der Trennungslinie eines Klumpfußes und damit im Bereich eines gesunden Fußes. Auch Holt et al. (2015) konnten in ihrem nachuntersuchten Patientenkollektiv von durchschnittlich 47 Jahren im Mittel einen Index über 40° nachweisen. Lourenco et al. (2007) ermittelten

bei 24 nicht vorbehandelten Klumpfüßen, im Alter von durchschnittlich 3,9 Jahren, einen durchschnittlichen talokalkanearen Index von weniger als 10° , nach Behandlung lag dieser bei 42° . Auch diese Studie untermauerte so die Aussagekraft des Index.

Dahingegen konnten Laaveg et al. (1980) keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Mittelwert des talokalkanearen Index und der klinischen Ergebnisse der Füße, durch die Bewertung im Score nach Laaveg und Ponseti erfasst, nachweisen. In unseren Berechnungen zeigte sich, im Gegensatz zu Laaveg et al. (1980) eine signifikante Korrelation des Scores nach Laaveg und Ponseti mit dem talokalkanearen Index. Obwohl hier die Mittelwerte von Laaveg mit 53° und von uns ermittelten $56,7^\circ$ sehr ähnlich waren. Des Weiteren zeigte der talokalkaneare Index in unseren Untersuchungen eine Korrelation zu allen von uns erhobenen Scores. Hierbei ist die negative Korrelation beim Score nach Pirani und Score nach Dimeglio zu beachten, da bei diesen Scores eine hohe Punktzahl mit einer stärkeren Klumpfußausprägung einhergeht, also gegenläufig zu den Punktwertungen der anderen Scores. Allerdings konnten wir auch eine ähnliche Korrelation alleinig von dem Talokalkanearewinkel im lateralen Röntgenbild zu den Scores nachweisen. Auch bei Hutchins et al. (1985) bestand eine signifikante Beziehung ($p < 0,001$) zwischen dem talokalkanearen Index und der Bewertung der Funktion. Ballantyne et al. (2002) gaben zu Bedenken, dass die Ossifikationszentren und die knorpeligen Anlagen nicht kollinear sind, wie in der magnetresonanztomographischen Untersuchung nachgewiesen (Cahuzac et al. 1999). Daher könnten Winkel, die an nicht vollständig ossifizierten Knochen gemessen werden, den talokalkanearen Index beeinflussen und so die Deformität nicht vollständig widerspiegeln. Aufgrund der deutlichen Korrelation zu den Ergebnissen der Scores und den dreimalig durchgeführten Winkelmessungen gehen wir in unseren Messungen nicht von zu großen Messfehlern aufgrund des nicht vollständig ossifizierten Talus und Kalkaneus aus.

Pearson und Beatson (Beatson et al. 1966) beschrieben ein Klumpfußrezidiv als einen Klumpfuß, der nie vollständig korrigiert worden war. Sie bewerteten den talokalkanearen Index als einen wichtigen Messwert, um eine nicht vollständig korrigierte talokalkaneonaviculare Fehlstellung früh zu erkennen und frühzeitig zu behandeln.

Allerdings stellte Wynne-Davies (1964) bereits sehr früh die Beziehung zwischen radiologischen Ergebnisse und klinischem Ergebnis in Frage. Obgleich sich sowohl

in unseren Untersuchungen, wie auch bei Laaveg und Ponseti Korrelationen zeigten, lassen die Ergebnisse einer Langzeituntersuchung dies anzweifeln: Holt et al. (2015) untersuchten Patienten, die nach Ponseti behandelt worden waren, im Alter von 47 Jahren. Sie zeigten, dass im Verlauf bei 40 % der Patienten ein M. tibialis anterior Sehnentransfer notwendig war. Allerdings war die Nachuntersuchungsquote der Studie mit 28 % gering. Die Gruppe mit durchgeführten M. tibialis anterior Sehnentransfer zeigte im Vergleich zur Gruppe ohne operativen Sehnentransfer deutliche radiologische Zeichen auf, wie zum Beispiel ein platter Talus oder ein kleiner Talokalkanerwinkel in der antero-posterioren Röntgenaufnahme. Aber keiner der radiologischen Funde war vergesellschaftet mit vermehrten Schmerzen oder Schwierigkeiten beim Gehen. Holt et al. (2015) vermuteten daher, dass radiologische Veränderungen nicht direkt mit dem funktionellen Langzeitergebnis in Verbindung stehen müssen. Die Relevanz von radiologischen Untersuchungen zur Verlaufskontrolle sollte laut Holt et al. (2015) daher erneut hinterfragt werden.

5.8.4. Talus-Metatarsale-I-Winkel in der antero-posterioren Röntgenaufnahme

Der von uns ermittelte durchschnittliche Talus-Metatarsale-I-Winkel lag mit $8,9^\circ$ deutlich über dem Normbereich von -20° bis 0° für Kinder (Simons 1977). Lourenco et al. (2007) zeigten mit einem durchschnittlichen Winkel von $9,7^\circ$ ähnliche Werte. Bei einem Durchschnittsalter von 6,3 Jahren konnten Church et al. (2012) einen antero-posterioren Talus-Metatarsale-I-Winkel von durchschnittlich 2° ermitteln, womit diese Klumpfüße wesentlich näher am Normwert lagen. Diese Werte unterschieden sich hochsignifikant von primär operativ versorgten Klumpfüßen, welche im Mittel einen Winkel von 11° zeigten (Church et al. 2012).

Der Talus-Metatarsale-I-Winkel zeigte in unseren Berechnungen eine signifikante Korrelation mit dem Score nach Pirani, wie auch eine negative Korrelation mit dem Score nach Laaveg und Ponseti sowie dem Score nach Atar. Die negative Korrelation beziehen wir auf den im negativen Bereich liegenden Normwert von -20° bis 0° . Auch der Mann-Whitney U-Test zeigte einen Unterschied bezogen auf den Score nach Laaveg und Ponseti für Klumpfüße, die in den Klumpfußbereich des Winkels fielen und jenen, die darunter lagen. So erreichten Füße mit einem Talus-Metatarsale-I-Winkel über 15° durchschnittlich 91,14 (\pm SD 6,03) Punkte im Score nach Laaveg und Ponseti, Füße mit einem Winkel unter 15° erreichten im Mittel ein besseres Ergebnis mit 96,08 (\pm SD 2,35) Punkte. Herbsthofer et al. (1998) konnten

keine signifikante Korrelation bezogen auf das klinische Ergebnis und den Talus-Metatarsale-I-Winkels darstellen. Die Korrelation mit dem Score nach Pirani sollte bei geringen Punktunterschieden des Scores in der Nachuntersuchung kritisch bewertet werden.

Obwohl sich in unseren Berechnungen durchaus Korrelationen und Unterschiede nachweisen ließen, ist zu beachten, dass Simons (1977) den alleinigen Wert des Talus-Metatarsale-I-Winkels nicht als eindeutiges Messwerkzeug ansah. Ein omnipräsentes Problem beim Auswerten von Röntgenaufnahmen junger Patienten ist, dass bei jüngeren Kindern die Knochenkerne noch nicht vollständig ossifiziert sind. Beispielsweise tritt das Ossifikationszentrum des, bei der Klumpfußpathologie wichtigen, Os naviculare, erst ab dem fünften Lebensjahr auf (Miyagi et al. 1997). Dies schränkte die radiologische Bewertung unseres Patientenguts ein. Auch die große Spannweite der Winkel von $-15,8^\circ$ bis zu 60° wirft Bedenken über den Einfluss der Auswertbarkeit bezüglich des Alters auf. Laut Simons (1977) konnte allerdings eben bei jungen Patienten mit noch nicht ossifiziertem Os naviculare der Talus-Metatarsale-I-Winkel ein Hinweis auf eine mediale Abweichung des Fußes in der mittleren oder proximalen Fußwurzelgelenkreihe und somit ein Hinweis auf eine pathologische Inversion des Os naviculare sein. Simons fand intraoperativ eine Subluxation im Talonaviculargelenk bei allen Füßen, deren Röntgenbilder einen Talus-Metatarsale-I-Winkel von mehr als 15° sowie einen Talokalkanearwinkel von weniger als 15° aufwiesen. Somit sah er den Talus-Metatarsale-I-Winkel in Verbindung mit dem Talokalkanearwinkel als wichtigen Messwert. Wobei Simons (1977) bei normalem Talokalkanearwinkel eine pathologische Stellung des Os naviculare ausschloss und damit nochmals unterstrich, dass allein der Talus-Metatarsale-I-Winkel keine ausreichende Aussagekraft besitze.

5.8.5. Talus-Metatarsale-I-Winkel in der lateralen Röntgenaufnahme

In der deutschen Fachliteratur finden sich unterschiedliche Normwerte für den im lateralen Röntgenbild gemessenen Talus-Metatarsale-I-Winkel. So beschreibt Krauspe R. (2006) einen Normwert von -10° bis 10° . Döderlein (1999) hingegen beschreibt beim Kind Werte von 0° bis 20° als normwertig und beim Erwachsenen Winkel von -4° bis 4° . Die bei Döderlein beschriebenen Werte sind identisch mit denen von Simons (1978), daher werden wir im Folgenden unsere Ergebnisse auf diese Normwerte beziehen.

Insgesamt lagen 36 Klumpfüße im Normbereich. Bei drei Füßen (Nr. 11, Nr. 20, Nr. 28) wurden Werte größer 20° gemessen, hier lag nach Simons (1977) ein Pes exkavatus vor. Zwei dieser Füße zeigten auch im Talokalkanearwinkel in der lateralen und antero-posterioren Aufnahme, wie auch in der Auswertung des Talus-Metatarsale-I-Winkels der antero-posterioren Aufnahme pathologische Werte. Church et al. (2012) konnten einen durchschnittlichen Wert von -4° in der von Ponseti behandelten Gruppe im Alter von durchschnittlich 6,3 Jahren nachweisen. Cooper et al. (1995) zeigten bei Klumpfüßen einen Winkel von 5° und damit einen hochsignifikanten Unterschied zu den normalen Füßen bei unilateralem Klumpfuß mit -1° . Insgesamt zeigt sich in der Auswertung des lateralen Talus-Metatarsale-I-Winkels eine geringere Spannweite der Messwerte als in der antero-posterioren Aufnahme.

5.8.6. Tibiotalarwinkel und Tibiokalkanearwinkel in der lateralen Röntgenaufnahme

Der tibiotalare Winkel wird seltener zur Nachuntersuchung erhoben als die bereits diskutierten Winkel. Der Mittelwert der von uns gemessenen tibiotalaren Winkel lag über dem Normbereich von 70° bis 100° (Simons 1977). Auch bei Lourenco et al. (2007) lag der durchschnittliche lateral gemessene Tibiotalarwinkel mit 106° über dem Normwert, bei einem Patientenalter von durchschnittlich 19 Lebensmonaten. Sie zeigten, dass sich der Wert nach Achillotenotomie nicht signifikante änderte. Macnicol et al. (1999) zeigten einen Tibiotalarwinkel von $97,7^\circ$ nach operativer Versorgung der Klumpfüße.

Der von uns ermittelte durchschnittliche Wert für den Winkel zwischen Tibia und Kalkaneus in der seitlichen Röntgenaufnahme lag mit $86,7^\circ$ über dem Normwert von 25° bis 60° (Döderlein 1999). Keiner der von uns gemessenen Winkel lag im Bereich unter 25° , dem Wertebereich eines Klumpfußes. Auch klinisch zeigte keiner der nachuntersuchten Füße eine Dorsalextension die eine weitere Therapie notwendig machen würde. Lourenco et al. (2007) bewerteten den tibiokalkanearen Winkel als sehr wertvolles Indiz für die Retraktion durch die Achillessehne. Sie konnten eine signifikante Zunahme des Winkels nach Achillotenotomie zeigen. Allerdings wiesen sie im Nachuntersuchungsalter von 19 Lebensmonaten eine signifikante Abnahme des Tibiokalkanearwinkels um $14,8^\circ$, verglichen zum Wert nach der ersten Gipsabnahme nach Achillotenotomie, nach. Zwar lag der Mittelwert immer noch mit $76,3^\circ$ im Normbereich, dennoch ließ dies vermuten, dass der Effekt der Achillotenotomie

direkt nach der Durchführung am stärksten und im Verlauf abnehmend ist. Church et al. (2012) zeigten bei einem Alter von 6,3 Jahren, also trotz deutlich längerem Zeitraum nach durchgeführter Achillotendotomie als bei Lourenco et al. (2007), bei der Nachuntersuchung einen lateral gemessenen tibiokalkanearen Winkel von 78° , dies ist vergleichbar mit unseren Ergebnissen ist. Radler et al. (2007) entdeckten in ihren Untersuchungen anhand des lateralen Tibiokalkanearwinkels bei sieben Füßen eine Pseudokorrektur, die lediglich das klinische Bild einer Korrektur zeigte. Hier lag klinisch zwar eine ausreichende Dorsalextension vor, bei unproportional großem tibiokalkanearen Winkel zeigte sich aber, dass die klinische Beweglichkeit in Dorsalextension primär aus dem Mittelfuß heraus resultierte. Auch sie zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen dem Tibiokalkanearwinkel vor und nach Achillotendotomie, der bei ihnen $68,7^\circ$ betrug. Sie sahen das Röntgenbild als sinnvolles Werkzeug um eine Pseudokorrektur zu detektieren. Das Risiko der Strahlenexposition sei laut Radler et al. (2007) durch die zusätzlich gewonnene Information durchaus gerechtfertigt. Ihre Meinung teilten Kang et al. (2015). Sie zeigten, dass die Indikationsstellung zur Achillotendotomie anhand eines Tibiokalkanearwinkel von mehr als 80° nach Gipsbehandlung einen relevanten prognostischen Wert bezogen auf die Rezidivrate in der Sagittalebene und notwendige chirurgische Revision darstellte. Im Gegensatz dazu steht die Indikationsstellung wie von Ponseti beschrieben. Hier erfolgt die Indikation zur Achillotendotomie anhand der klinischen Dorsalextension, wie sie auch in unserer Behandlung durchgeführt wurde. Mögliche klinische Folgen einer Pseudokorrektur zeigten sich bei den nachuntersuchten Patienten bisher nicht.

5.8.7. Relevanz der radiologischen Untersuchung in der Bewertung des Klumpfußes
Die Meinungen über die Stellung der Röntgenaufnahmen in der Klumpfußbehandlung bleiben kontrovers diskutiert. Unumstritten sind radiologische Befunde verifizierbar und können die Klumpfußdeformität in ihren einzelnen Komponenten widerspiegeln. Die Röntgenauswertung zeigte im Vergleich zu den Scores eine sehr unterschiedliche Verteilung der einzelnen Klumpfüße. So zeigte der Fuß Nr. 16 beispielweise sowohl im antero-posterioren, wie auch im lateralen Röntgenbild einen Talokalkanearwinkel Winkel entsprechend eines Klumpfuß, bei zwar knapp normwertigen talokalkanearen Index und zu großen tibiotalaren und tibiokalkanearen Winkeln. Aber eben dieser Fuß erreicht in den Scores nach Pirani, Dimeglio, Laaveg

und Ponseti und Atar die beste vergebene Punktzahl. Dies unterstreicht die Unterschiede der klinischen Untersuchung zu radiologischen Befunden. Ob radiologische Untersuchungen also durchgeführt werden sollten, etwa um Klumpfüße zu klassifizieren (Thompson et al. 1982), um eine operative Rezidiv-Versorgung vorzubereiten, ob sie, bereits frühzeitig nach der Gipsbehandlung, zur Indikationsstellung der Tenotomie dienen sollten (Kang et al. 2015) oder zur regulären Verlaufskontrolle (Simons 1977, Atar et al. 1990) bleibt zu diskutieren. Weiterhin bestehen ausgeprägten kontroversen Meinungen über den klinischen Stellenwert von Röntgenuntersuchungen. So finden sich Meinungen, dass ein Ausprägungsmaß des Klumpfußes anhand einer Winkelgradzahl unmöglich ist (Herbsthofer et al. 1998) oder die Zufriedenheit der Patienten anhand von Scores und klinischen Untersuchungen zu verifizieren ist und nicht den radiologischen Befunden entspricht (Cooper et al. 1995, Herbsthofer et al. 1998, Holt et al. 2015).

5.8.8. Limitationen der radiologischen Winkelbemessung

Da die Knochen der Patienten aufgrund des geringen Alters noch nicht vollständig ossifiziert waren und die Messung der Winkel in den Röntgenaufnahmen entsprechend schwieriger durchführbar war, wurden alle Winkel dreimalig vom selben Untersucher im zeitlichen Abstand von mindestens einer Woche gemessen. Der anhand dieser drei Werte ermittelte Intraklassenkorrelationskoeffizient entsprach in allen Fällen einer exzellenten Reliabilität (Shrout et al. 1979, Lexell et al. 2005). Die Bewertung der radiologischen Befunde hätte durch einen weiteren Untersucher möglicherweise profitiert. Zu beachten ist, dass die Interuntersuchervariabilität sehr hoch sein kann (Herbsthofer et al. 1998). Gerade aufgrund der erschwerten Messungen durch die nicht vollständig ossifizierten Knochen, hätte die Messung durch einen weiteren Untersucher die Objektivität der Ergebnisse verbessert. Beatson et al. (1966) beschreiben eine gute Messbarkeit der Winkel im Röntgenbild ab einem Alter von drei Monaten. Bei den von uns zur Messung der Winkel herangezogenen Röntgenbildern war bei sechs Bildern im antero-posterioren Strahlengang eine Messung auf Grund von Überlagerung des Unterschenkels oder von haltenden Händen der Eltern nicht möglich. Im lateralen Röntgenbild war bei zwei Füßen aufgrund von zu kurzem Bildausschnitt proximal keine Messung der Winkel mit Bezug auf die Tibia möglich. Die Unverwertbarkeit der Aufnahmen sind somit zum Teil der technischen Ausführung geschuldet. Zudem erschwerte die, aufgrund des Alters, geringe Anleit-

barkeit der Kinder die Durchführung der Röntgenaufnahmen und führte so zu teilweise nicht verwendbaren Röntgenaufnahmen. Bei älteren Patienten ist beispielsweise eine Überlagerung durch haltende Hände nicht zu erwarten, da sie selbständig Anweisungen folgen können. Insbesondere in der Auswertung der Winkel in Bezug auf die Tibia, erschwerte das geringe Patientenalter die Durchführung der Röntgenaufnahmen. Laut Simons (1977) sollte die Aufnahme in maximal möglicher Dorsalextension durchgeführt werden. Dies kann bei den Kindern durch Druckausübung auf die Fußsohle mittels Brettchen forciert werden. Bei Kindern die sich gegen diese Haltung sträuben, kann die Positionierung problematisch sein. Selbst wenn das Kind von einer Hilfsperson gehalten wird und können die radiologischen Ergebnisse stark beeinträchtigt sein.

Der Anteil der ausgewerteten Bilder lag dennoch bei über 80 % der Klumpfüße, weswegen wir von einer ausreichenden Aussagekraft ausgehen. Die durch die fehlenden Röntgenaufnahmen reduzierte Fallzahl stellt eine Limitation dar.

Bei Winkeln die durch die Tibia gebildet werden, sei nochmal auf die erschwerten Aufnahmebedingungen bei jüngeren Kindern hingewiesen.

6. Schlussfolgerung

Die Behandlung der Klumpfüße nach Ponseti ist eine komplikationsarme Therapie. In unserem Krankengut erzielten wir sowohl klinisch, wie auch radiologisch gute Ergebnisse in der Klumpfußtherapie nach einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 27 Monaten. Die genaue Definition und Erfassung der Schienentragezeit ist wichtig, um die Therapie weiter zu optimieren. Die Auswertung dieser Daten und ihr Vergleich hat die Wichtigkeit der radiologischen Untersuchung relativiert. Bis dato wurden radiologische Aufnahmen nach Laufbeginn zum Therapieverlauf angefertigt. Für Verlaufskontrollen sind klinische Scores, insbesondere der Score nach Laaveg und Ponseti, potente Bewertungssysteme, die gut mit der radiologischen Beurteilung korrelieren. Die Indikation zur radiologischen Untersuchung kann daher zurückhaltender gestellt werden. Wir fertigen deshalb Röntgenaufnahmen nur noch vor einer operativen Therapie an.

Offen bleibt die Frage nach einem universell gültigen Bewertungssystem. Der notwendige Zeitrahmen für die Schienentherapie sollte anhand weiterer Studien genauer untersucht werden. Hierzu wäre ein universelles Bewertungssystem des Klumpfußes und die Verwendung der, in dieser Arbeit definierten, individuellen Schienentragezeit von Vorteil.

7. Literaturverzeichnis

1. Abdelgawad, A. A., et al. (2007). "Treatment of idiopathic clubfoot using the Ponseti method: minimum 2-year follow-up." J Pediatr Orthop B **16**(2): 98-105.
2. Alvarado, D. M., et al. (2010). "Familial isolated clubfoot is associated with recurrent chromosome 17q23.1q23.2 microduplications containing TBX4." Am J Hum Genet **87**(1): 154-160.
3. Alves, C., et al. (2009). "Ponseti method: does age at the beginning of treatment make a difference?" Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1271-1277.
4. Andriessse, H., et al. (2005). "The clubfoot assessment protocol (CAP); description and reliability of a structured multi-level instrument for follow-up." BMC Musculoskelet Disord **6**: 40.
5. Andriessse, H., et al. (2006). "Validity and responsiveness of the Clubfoot Assessment Protocol (CAP). A methodological study." BMC Musculoskelet Disord **7**: 28.
6. Atar, D., et al. (1990). "Pediatric update #14. Functional rating system for evaluating the results of clubfoot surgery." Orthop Rev **19**(8): 730-735.
7. Atar, D., et al. (1992). "Revision surgery in clubfeet." Clin Orthop Relat Res(283): 223-230.
8. Avilucea, F. R., et al. (2009). "Effect of cultural factors on outcome of Ponseti treatment of clubfeet in rural America." J Bone Joint Surg Am **91**(3): 530-540.
9. Ballantyne, J. A. and Macnicol, M. F. (2002). "(i) Congenital talipes equinovarus (clubfoot): an overview of the aetiology and treatment." Current Orthopaedics **16**(2): 85-95.
10. Barker, S. L. and Macnicol, M. F. (2002). "Seasonal distribution of idiopathic congenital talipes equinovarus in Scotland." J Pediatr Orthop B **11**(2): 129-133.
11. Baumgartner, R. and Stinus, H. (2001). Die orthopädietechnische Versorgung des Fußes. Stuttgart, Thieme Georg Verlag
12. Beatson, T. R. and Pearson, J. R. (1966). "A method of assessing correction in club feet." J Bone Joint Surg Br **48**(1): 40-50.
13. Bechtol, C. O. and Mossman, H. W. (1950). "Clubfoot; an embryological study of associated muscle abnormalities." J Bone Joint Surg Am **32 A**(4): 827-838.
14. Bensahel, H., et al. (1990). "Practical applications in idiopathic clubfoot: a retrospective multicentric study in EPOS." J Pediatr Orthop **10**(2): 186-188.
15. Bensahel, H., et al. (1983). "The functional anatomy of clubfoot." J Pediatr Orthop **3**(2): 191-195.

16. Bor, N., et al. (2009). "Ponseti treatment for idiopathic clubfoot: minimum 5-year followup." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1263-1270.
17. Brand, R. A. (2009). "Clubfoot: etiology and treatment Ignacio V. Ponseti, MD, 1914." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1121-1123.
18. Brockman, E. P. (1937). "Modern Methods of Treatment of Club-Foot." Br Med J **2**(4002): 572-574.
19. Buckup, K. (2005). Klinische Test an Knochen, Gelenken und Muskeln. Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG.
20. Cahuzac, J. P., et al. (1999). "Assessment of hindfoot deformity by three-dimensional MRI in infant club foot." J Bone Joint Surg Br **81**(1): 97-101.
21. Carroll, N. C., et al. (1978). "The pathoanatomy of congenital clubfoot." Orthop Clin North Am **9**(1): 225-232.
22. Cartlidge, I. (1984). "Observations on the epidemiology of club foot in Polynesian and Caucasian populations." J Med Genet **21**(4): 290-292.
23. Catterall, A. (1991). "A method of assessment of the clubfoot deformity." Clin Orthop Relat Res(264): 48-53.
24. Chapman, C., et al. (2000). "Genetics of club foot in Maori and Pacific people." J Med Genet **37**(9): 680-683.
25. Chotel, F., et al. (2011). "Comparative study: Ponseti method versus French physiotherapy for initial treatment of idiopathic clubfoot deformity." J Pediatr Orthop **31**(3): 320-325.
26. Chung, C. S., et al. (1969). "Genetic and epidemiological studies of clubfoot in Hawaii. General and medical considerations." Hum Hered **19**(4): 321-342.
27. Church, C., et al. (2012). "A comprehensive outcome comparison of surgical and Ponseti clubfoot treatments with reference to pediatric norms." J Child Orthop **6**(1): 51-59.
28. Cooper, D. M. and Dietz, F. R. (1995). "Treatment of idiopathic clubfoot. A thirty-year follow-up note." J Bone Joint Surg Am **77**(10): 1477-1489.
29. Cosma, D., et al. (2007). "Comparative results of the conservative treatment in clubfoot by two different protocols." J Pediatr Orthop B **16**(5): 317-321.
30. Cosma, D. and Vasilescu, D. E. (2014). "A Clinical Evaluation of the Pirani and Dimeglio Idiopathic Clubfoot Classifications." J Foot Ankle Surg.
31. Coss, H. S. and Hennrikus, W. L. (1996). "Parent satisfaction comparing two bandage materials used during serial casting in infants." Foot Ankle Int **17**(8): 483-486.

32. Danielsson, L. G. (1992). "Incidence of congenital clubfoot in Sweden. 128 cases in 138,000 infants 1946-1990 in Malmo." Acta Orthop Scand **63**(4): 424-426.
33. Derzsi, Z., et al. (2015). "Kite versus Ponseti Method in the Treatment of 235 Feet With Idiopathic Clubfoot: Results of a Single Romanian Medical Center." Medicine (Baltimore) **94**(33): e1379.
34. Dietz, F. R., et al. (1983). "Morphometric study of clubfoot tendon sheaths." J Pediatr Orthop **3**(3): 311-318.
35. Dimeglio, A., et al. (1995). "Classification of clubfoot." J Pediatr Orthop B **4**(2): 129-136.
36. Dobbs, M. B., et al. (2004). "Factors predictive of outcome after use of the Ponseti method for the treatment of idiopathic clubfeet." J Bone Joint Surg Am **86-A**(1): 22-27.
37. Döderlein, L. W., W.; Schneider, U. (1999). Der Klumpfuß. Berlin, Springer.
38. Downey, D. J., et al. (1992). "Magnetic resonance image findings in congenital talipes equinovarus." J Pediatr Orthop **12**(2): 224-228.
39. Dyer, P. J. and Davis, N. (2006). "The role of the Pirani scoring system in the management of club foot by the Ponseti method." J Bone Joint Surg Br **88**(8): 1082-1084.
40. Eberhardt, O., et al. (2012). "[Mid-term results of idiopathic clubfeet treated with the Ponseti method]." Z Orthop Unfall **150**(2): 190-197.
41. Eberhardt, O., et al. (2006). "[Treatment of congenital clubfoot with the Ponseti method]." Z Orthop Ihre Grenzgeb **144**(5): 497-501.
42. Edwards, M. J. (1971). "The experimental production of clubfoot in guinea-pigs by maternal hyperthermia during gestation." J Pathol **103**(1): 49-53.
43. Engell, V., et al. (2006). "Club foot: a twin study." J Bone Joint Surg Br **88**(3): 374-376.
44. Farrell, S. A., et al. (1999). "Club foot, an adverse outcome of early amniocentesis: disruption or deformation? CEMAT. Canadian Early and Mid- Trimester Amniocentesis Trial." J Med Genet **36**(11): 843-846.
45. Farsetti, P., et al. (2009). "CT study on the effect of different treatment protocols for clubfoot pathology." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1243-1249.
46. Favre, P., et al. (2007). "The contralateral foot in children with unilateral clubfoot: a study of pressures and forces involved in gait." J Pediatr Orthop **27**(1): 54-59.

47. Flynn, J. M., et al. (1998). "An independent assessment of two clubfoot-classification systems." J Pediatr Orthop **18**(3): 323-327.
48. Ford-Powell, V. A., et al. (2013). "The Bangladesh clubfoot project: the first 5000 feet." J Pediatr Orthop **33**(4): e40-44.
49. Frankenburg, W. K. (1969). "The Denver developmental screening test." (0012-1622 (Print)).
50. Fritsch, H. and Eggers, R. (1999). "Ossification of the calcaneus in the normal fetal foot and in clubfoot." J Pediatr Orthop **19**(1): 22-26.
51. Fukuhara, K., et al. (1994). "The pathogenesis of club foot. A histomorphometric and immunohistochemical study of fetuses." J Bone Joint Surg Br **76**(3): 450-457.
52. Gardner, E., et al. (1959). "The prenatal development of the skeleton and joints of the human foot." J Bone Joint Surg Am **41-A**(5): 847-876.
53. Grill, F. (1989). "[Congenital idiopathic clubfoot. Etiology, pathomorphology, therapy and results]." Pediatr Padol **24**(4): 279-287.
54. Haft, G. F., et al. (2007). "Early clubfoot recurrence after use of the Ponseti method in a New Zealand population." J Bone Joint Surg Am **89**(3): 487-493.
55. Hamel, J. and Becker, W. (1996). "Sonographic assessment of clubfoot deformity in young children." J Pediatr Orthop B **5**(4): 279-286.
56. Harrold Aj, W., C. J. (1983). "Treatment and prognosis in congenital club foot." (0301-620X (Print)).
57. Heck, A. L., et al. (2005). "Variation in CASP10 gene is associated with idiopathic talipes equinovarus." J Pediatr Orthop **25**(5): 598-602.
58. Hee, H. T., et al. (2001). "Gait and pedobarographic patterns of surgically treated clubfeet." J Foot Ankle Surg **40**(5): 287-294.
59. Hemo, Y., et al. (2011). "The influence of brace type on the success rate of the Ponseti treatment protocol for idiopathic clubfoot." J Child Orthop **5**(2): 115-119.
60. Herbsthofer, B., et al. (1998). "Significance of radiographic angle measurements in evaluation of congenital clubfoot." Arch Orthop Trauma Surg **117**(6-7): 324-329.
61. Herring, T. (2014). Korsettversorgung bei Jugendlichen, Compliance Aspekte. Vorkurs die wachsende Wirbelsäule, 28. Jahrestagung der Vereinigung für Kinderorthopädie, Bonn.
62. Herzenberg, J. E., et al. (1988). "Clubfoot analysis with three-dimensional computer modeling." J Pediatr Orthop **8**(3): 257-262.

63. Herzenberg, J. E., et al. (2002). "Ponseti versus traditional methods of casting for idiopathic clubfoot." J Pediatr Orthop **22**(4): 517-521.
64. Holt, J. B., et al. (2015). "Long-term results of tibialis anterior tendon transfer for relapsed idiopathic clubfoot treated with the Ponseti method: a follow-up of thirty-seven to fifty-five years." J Bone Joint Surg Am **97**(1): 47-55.
65. Howard, C. B. and Benson, M. K. (1993). "Clubfoot: its pathological anatomy." J Pediatr Orthop **13**(5): 654-659.
66. Huang, Y. T., et al. (1999). "The treatment of congenital club foot by operation to correct deformity and achieve dynamic muscle balance." J Bone Joint Surg Br **81**(5): 858-862.
67. Hutchins, P. M., et al. (1985). "Long-term results of early surgical release in club feet." J Bone Joint Surg Br **67**(5): 791-799.
68. Hutchinson, R. J., et al. (2001). "Assessment of Ilizarov correction of club-foot deformity using pedobarography. A preliminary report." Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume **83b**(0301-620X (Print)): 1041-1045.
69. Imhäuser, G. (1980). "Follow-up examinations: 30 years of Imhauser clubfoot treatment." Arch Orthop Trauma Surg **96**(4): 259-270.
70. Ippolito, E., et al. (1980). "Histologic, histochemical, and ultrastructural studies of the hip joint capsule and ligamentum teres in congenital dislocation of the hip." Clin Orthop Relat Res(146): 246-258.
71. Ippolito, E. (1995). "Update on pathologic anatomy of clubfoot." J Pediatr Orthop B **4**(1): 17-24.
72. Ippolito, E., et al. (2009). "Leg muscle atrophy in idiopathic congenital clubfoot: is it primitive or acquired?" J Child Orthop **3**(3): 171-178.
73. Ippolito, E., et al. (2003). "Long-term comparative results in patients with congenital clubfoot treated with two different protocols." J Bone Joint Surg Am **85-A**(7): 1286-1294.
74. Irani, R. N. and Sherman, M. S. (1972). "The pathological anatomy of idiopathic clubfoot." Clin Orthop Relat Res **84**: 14-20.
75. Isaacs, H., et al. (1977). "The muscles in club foot--a histological histochemical and electron microscopic study." J Bone Joint Surg Br **59-B**(4): 465-472.
76. Janicki, J. A., et al. (2011). "A comparison of ankle foot orthoses with foot abduction orthoses to prevent recurrence following correction of idiopathic clubfoot by the Ponseti method." J Bone Joint Surg Br **93**(5): 700-704.

77. Jowett, C. R., et al. (2011). "Management of congenital talipes equinovarus using the Ponseti method: a systematic review." J Bone Joint Surg Br **93**(9): 1160-1164.
78. Kang, S. and Park, S. S. (2015). "Lateral Tibiocalcaneal Angle As a Determinant for Percutaneous Achilles Tenotomy for Idiopathic Clubfeet." J Bone Joint Surg Am **97**(15): 1246-1254.
79. Kaplan, E. B. (1972). "Comparative anatomy of the talus in relation to idiopathic clubfoot." Clin Orthop Relat Res **85**: 32-37.
80. Karol, L. A., et al. (2009). "Gait analysis after initial nonoperative treatment for clubfeet: intermediate term followup at age 5." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1206-1213.
81. Kawashima, T. and Uthoff, H. K. (1990). "Development of the foot in prenatal life in relation to idiopathic club foot." J Pediatr Orthop **10**(2): 232-237.
82. Kite, J. H. (1972). "Nonoperative treatment of congenital clubfoot." Clin Orthop Relat Res **84**: 29-38.
83. Krauspe R., W. B., Wild A. (2006). Der Klumpfuß. Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG.
84. Kumar, P. N., et al. (1993). "Medial calcaneal osteotomy for relapsed equinovarus deformity. Long-term study of the results of Frederick Dwyer." J Bone Joint Surg Br **75**(6): 967-971.
85. Laaveg, S. J. and Ponseti, I. V. (1980). "Long-term results of treatment of congenital club foot." J Bone Joint Surg Am **62**(1): 23-31.
86. Lehman, W. B., et al. (2003). "A method for the early evaluation of the Ponseti (Iowa) technique for the treatment of idiopathic clubfoot." J Pediatr Orthop B **12**(2): 133-140.
87. Lexell, J. E. and Downham, D. Y. (2005). "How to assess the reliability of measurements in rehabilitation." Am J Phys Med Rehabil **84**(9): 719-723.
88. Loder, R. T., et al. (2006). "Lack of seasonal variation in idiopathic talipes equinovarus." J Bone Joint Surg Am **88**(3): 496-502.
89. Lourenco, A. F. and Morcuende, J. A. (2007). "Correction of neglected idiopathic club foot by the Ponseti method." J Bone Joint Surg Br **89**(3): 378-381.
90. Lu, W., et al. (2012). "Studies of TBX4 and chromosome 17q23.1q23.2: an uncommon cause of nonsyndromic clubfoot." Am J Med Genet A **158A**(7): 1620-1627.
91. Macnicol, M. F. and Flocken, L. L. (1999). "Calcaneocuboid malalignment in clubfoot." J Pediatr Orthop B **8**(4): 257-260.

92. Macnicol, M. F., et al. (2000). "Functional results of surgical treatment in congenital talipes equinovarus (clubfoot): a comparison of outcome measurements." J Pediatr Orthop B **9**(4): 285-292.
93. Mayatepek, E. (2008). Repetitorium Pädiatrie München, Elsevier GmbH
94. McKay, D. W. (1982). "New concept of and approach to clubfoot treatment: section I-principles and morbid anatomy." J Pediatr Orthop **2**(4): 347-356.
95. McKay, D. W. (1983). "New concept of and approach to clubfoot treatment: Section III--evaluation and results." J Pediatr Orthop **3**(2): 141-148.
96. McKay, S. D., et al. (2012). "Treatment results of late-relapsing idiopathic clubfoot previously treated with the Ponseti method." J Pediatr Orthop **32**(4): 406-411.
97. McKee, J. (Dezember 2007, Dezember 2007). "AAOS: American Academy of Orthopaedic Surgeons® / American Association of Orthopaedic Surgeons® Retrieved 06.09.2015, 2015, from <http://www.aaos.org/news/bulletin/dec07/youraaos3.asp>.
98. Miyagi, N., et al. (1997). "Onset of ossification of the tarsal bones in congenital clubfoot." J Pediatr Orthop **17**(1): 36-40.
99. Moon, D. K., et al. (2014). "Soft-Tissue Abnormalities Associated with Treatment-Resistant and Treatment-Responsive Clubfoot: Findings of MRI Analysis." J Bone Joint Surg Am **96**(15): 1249-1256.
100. Morcuende, J. A., et al. (2004). "Radical reduction in the rate of extensive corrective surgery for clubfoot using the Ponseti method." Pediatrics **113**(2): 376-380.
101. Munshi, S., et al. (2006). "Evaluation of outcome of treatment of congenital clubfoot." J Pediatr Orthop **26**(5): 664-672.
102. Ng, B. K., et al. (2010). "Treatment of severe clubfoot with manipulation using synthetic cast material and a foam-casting platform: a preliminary report." J Pediatr Orthop B **19**(2): 164-170.
103. Nogueira, M. P., et al. (2009). "Is it possible to treat recurrent clubfoot with the Ponseti technique after posteromedial release?: a preliminary study." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1298-1305.
104. Panjavi, B., et al. (2012). "Use of the Ponseti method in the Iranian population." J Pediatr Orthop **32**(3): e11-14.
105. Park, S. S., et al. (2009). "Selective soft-tissue release for recurrent or residual deformity after conservative treatment of idiopathic clubfoot." J Bone Joint Surg Br **91**(11): 1526-1530.

106. Park, S. S., et al. (2012). "Gastrocsoleus fascial release for correction of equinus deformity in residual or relapsed clubfoot." Foot Ankle Int **33**(12): 1075-1078.
107. Pirani, S. (1995). A method of assessing the virgin clubfoot. . Pediatric Orthopaedic Society of North America. Orlando.
108. Pirani S, O. H., Sawatzky B et al (1999). A reliable method of clinically evaluating a virgin clubfoot evaluation. 21st SICOT World Congress, Sydney, Australia.
109. Pittner, D. E., et al. (2008). "Treatment of clubfoot with the Ponseti method: a comparison of casting materials." (0271-6798 (Print)).
110. Ponseti, I. V. (1994). "The treatment of congenital clubfoot." J Orthop Sports Phys Ther **20**(1): 1.
111. Ponseti, I. V. (1996). Congenital clubfoot Fundamentals of treatment, Oxford University Press Inc. New York.
112. Ponseti, I. V. and Campos, J. (1972). "Observations on pathogenesis and treatment of congenital clubfoot." Clin Orthop Relat Res **84**: 50-60.
113. Porecha, M. M., et al. (2011). "Mid-term results of Ponseti method for the treatment of congenital idiopathic clubfoot--(a study of 67 clubfeet with mean five year follow-up)." J Orthop Surg Res **6**: 3.
114. Pryor, G. A., et al. (1991). "Seasonal variation in the incidence of congenital talipes equinovarus." J Bone Joint Surg Br **73**(4): 632-634.
115. Pulak, S. and Swamy, M. (2012). "Treatment of idiopathic clubfoot by ponseti technique of manipulation and serial plaster casting and its critical evaluation." Ethiop J Health Sci **22**(2): 77-84.
116. Radler, C., et al. (2007). "Radiographic evaluation of idiopathic clubfeet undergoing Ponseti treatment." J Bone Joint Surg Am **89**(6): 1177-1183.
117. Radler, C., et al. (2013). "Midterm results of the Ponseti method in the treatment of congenital clubfoot." Int Orthop.
118. Radler, C., et al. (2006). "[Early results of the Ponseti method for the treatment of idiopathic clubfoot]." Z Orthop Ihre Grenzgeb **144**(1): 80-86.
119. Rebbeck, T. R., et al. (1993). "A single-gene explanation for the probability of having idiopathic talipes equinovarus." Am J Hum Genet **53**(5): 1051-1063.
120. Richards, B. S., et al. (2008). "A comparison of two nonoperative methods of idiopathic clubfoot correction: the Ponseti method and the French functional (physiotherapy) method." J Bone Joint Surg Am **90**(11): 2313-2321.

121. Robertson, W. W., Jr. and Corbett, D. (1997). "Congenital clubfoot. Month of conception." Clin Orthop Relat Res(338): 14-18.
122. Saetersdal, C., et al. (2012). "Good results with the Ponseti method: a multicenter study of 162 clubfeet followed for 2-5 years." Acta Orthop **83**(3): 288-293.
123. Sanghvi, A. V. and Mittal, V. K. (2009). "Conservative management of idiopathic clubfoot: Kite versus Ponseti method." J Orthop Surg (Hong Kong) **17**(1): 67-71.
124. Scarpa, A. (1818). "A memoir on the congenital club feet of children, and of the mode of correcting that deformity. 1818." (0009-921X (Print)).
125. Scher, D. M., et al. (2004). "Predicting the need for tenotomy in the Ponseti method for correction of clubfeet." J Pediatr Orthop **24**(4): 349-352.
126. Schlegel, U. J., et al. (2010). "Functional midterm outcome in 131 consecutive cases of surgical clubfoot treatment." Arch Orthop Trauma Surg **130**(9): 1077-1081.
127. Schünke M., S. E., Schumacher U. (2007). Prometheus, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.
128. Segev, E., et al. (2005). "Early experience with the Ponseti method for the treatment of congenital idiopathic clubfoot." Isr Med Assoc J **7**(5): 307-310.
129. Shrout, P. E. and Fleiss, J. L. (1979). "Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability." Psychol Bull **86**(2): 420-428.
130. Simons, G. W. (1977). "Analytical radiography of club feet." J Bone Joint Surg Br **59-B**(4): 485-489.
131. Simons, G. W. (1978). "A standardized method for the radiographic evaluation of clubfeet." Clin Orthop Relat Res(135): 107-118.
132. Sinclair, M. F., et al. (2009). "Pedobarographic analysis following Ponseti treatment for congenital clubfoot." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1223-1230.
133. Sitzmann, C. (2003). Duale Reihe Pädiatrie, Georg Thieme Verlag.
134. Skelly, A. C., et al. (2002). "Talipes equinovarus and maternal smoking: a population-based case-control study in Washington state." Teratology **66**(2): 91-100.
135. Smith, P. A., et al. (2013). "Long-term results of comprehensive clubfoot release versus the Ponseti method: which is better?" (1528-1132 (Electronic)).
136. Smoley, P. (1963). "Congenital Club Foot: The Results of Treatment." Journal of Bone and Joint Surgery Am. **45**: 261-344.

137. Sodre, H., et al. (1990). "Arterial abnormalities in talipes equinovarus as assessed by angiography and the Doppler technique." J Pediatr Orthop **10**(1): 101-104.
138. Souchet, P., et al. (2004). "Functional treatment of clubfoot: a new series of 350 idiopathic clubfeet with long-term follow-up." J Pediatr Orthop B **13**(3): 189-196.
139. Spiegel, D. A., et al. (2009). "Ponseti method for untreated idiopathic clubfeet in Nepalese patients from 1 to 6 years of age." Clin Orthop Relat Res **467**(5): 1164-1170.
140. Statistisches Bundesamt, Z. B. (2006-2009). "Lebendgeborene, Totgeborene, Gestorbene und Saldo der Lebendgeborenen und Gestorbenen. Gliederungsmerkmale: Jahre, Region, Geschlecht. (Primärquelle: Statistisches Bundesamt, Gesundheitsberichterstattung)". Retrieved 25.05.2015, from <http://www.gbe-bund.de>.
141. Sud, A., et al. (2008). "Ponseti's vs. Kite's method in the treatment of clubfoot--a prospective randomised study." Int Orthop **32**(3): 409-413.
142. Sundberg, K., et al. (1997). "Randomised study of risk of fetal loss related to early amniocentesis versus chorionic villus sampling." Lancet **350**(9079): 697-703.
143. Tachdjian Mihran O. (1972). Pediatric Orthopedics. Philadelphia, W. B. Saunders Company.
144. Thacker, M. M., et al. (2005). "Use of the foot abduction orthosis following Ponseti casts: is it essential?" J Pediatr Orthop **25**(2): 225-228.
145. Thompson, G. H., et al. (1982). "Surgical management of resistant congenital talipes equinovarus deformities." J Bone Joint Surg Am **64**(5): 652-665.
146. Turco, V. J. (1971). "Surgical correction of the resistant club foot. One-stage posteromedial release with internal fixation: a preliminary report." J Bone Joint Surg Am **53**(3): 477-497.
147. Verma, A., et al. (2012). "Management of idiopathic clubfoot in toddlers by Ponseti's method." J Pediatr Orthop B **21**(1): 79-84.
148. Victoria-Diaz, A. and Victoria-Diaz, J. (1984). "Pathogenesis of idiopathic clubfoot." Clin Orthop Relat Res(185): 14-24.
149. Wainwright, A. M., et al. (2002). "The classification of congenital talipes equinovarus." J Bone Joint Surg Br **84**(7): 1020-1024.
150. Waisbrod, H. (1973). "Congenital club foot. An anatomical study." J Bone Joint Surg Br **55**(4): 796-801.

151. Wallander, H., et al. (2006). "Incidence of congenital clubfoot in Sweden." Acta Orthop **77**(6): 847-852.
152. Wallander, H. M. (2010). "Congenital clubfoot. Aspects on epidemiology, residual deformity and patient reported outcome." Acta Orthop Suppl **81**(339): 1-25.
153. Wang, J. H., et al. (1988). "The role of major gene in clubfoot." Am J Hum Genet **42**(5): 772-776.
154. Wilson, R. D. (1998). "Randomised trial to assess safety and fetal outcome of early and midtrimester amniocentesis. The Canadian Early and Mid-trimester Amniocentesis Trial (CEMAT) Group." Lancet **351**(9098): 242-247.
155. Windisch, G., et al. (2007). "Anatomical study for an update comprehension of clubfoot. Part I: Bones and joints." J Child Orthop **1**(1): 69-77.
156. Windisch, G., et al. (2007). "Anatomical study for an updated comprehension of clubfoot. Part II: Ligaments, tendons and muscles." J Child Orthop **1**(1): 79-85.
157. Wynne-Davies, R. (1964). "Family Studies and the Cause of Congenital Club Foot. Talipes Equinovarus, Talipes Calcaneo-Valgus and Metatarsus Varus." J Bone Joint Surg Br **46**: 445-463.
158. Wynne-Davies, R. (1964). "Talipes Equinovarus. A Review of Eighty-Four Cases after Completion of Treatment." J Bone Joint Surg Br **46**: 464-476.
159. Wynne-Davies, R. (1965). "Family studies and aetiology of club foot." J Med Genet **2**(4): 227-232.
160. Yang, H. Y., et al. (1987). "A genetic analysis of clubfoot in Hawaii." Genet Epidemiol **4**(4): 299-306.
161. Zhao, D., et al. (2014). "Results of clubfoot management using the Ponseti method: do the details matter? A systematic review." Clin Orthop Relat Res **472**(4): 1329-1336.
162. Zions, L. E. (2015). "What's New in Idiopathic Clubfoot?" J Pediatr Orthop **35**(6): 547-550.
163. Zions, L. E., et al. (2012). "The current management of idiopathic clubfoot revisited: results of a survey of the POSNA membership." J Pediatr Orthop **32**(5): 515-520.
164. Zwick, E. B., et al. (2009). "Comparison of Ponseti versus surgical treatment for idiopathic clubfoot: a short-term preliminary report." Clin Orthop Relat Res **467**(10): 2668-2676.

8. Anhang

8.1. Studienprotokoll

Ergebnisse der Klumpfußbehandlung nach Ponseti in Homburg

Studien Planung

Bereits erhobene Daten:

Klumpfuß: idiopathisch
 sekundär: _____

Vorbehandlung: nein
 ja: _____

Alter bei Therapiebeginn: 1 LW
 2-4 LW
 bis 3 Monate
 bis 6 Monate
 > 6 Monate

Anzahl der Gipse
 bis zur OP: _____
 bis zur Schienenbehandlung: _____
 nach Tenotomie: _____

Dauer der Gipsbehandlung: _____
 Anfangsdatum der Gipsbehandlung: _____
 Enddatum der Gipsbehandlung: _____

OP: ja Achillotenotomie
 Z-Plastik
 andere:
 nein

Cincinnati Zugang ja nein

Nachuntersuchung/heutige Vorstellung

Datum: _____
 Follow-up Zeit (ab erster Vorstellung): _____

Klumpfuß: Rechter Fuß Linker Fuß

	Rechter Fuß	Linker Fuß
Klinische Untersuchung:		
Zehengang:	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Hackengang:	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Doralexension/ Plantarflexion		
Inversion/Eversion		
Vorfußadduktion:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> flexibel <input type="checkbox"/> flexibel rigide	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> flexibel <input type="checkbox"/> flexibel rigide
Subtalare externale Rotation:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> flexibel <input type="checkbox"/> flexibel rigide	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> flexibel <input type="checkbox"/> flexibel rigide

1 von 2

Abb. 37: Formblatt zur Erhebung der Studiendaten, Seite 1 von 2.

Ergebnisse der Klumpfußbehandlung nach Ponseti in Homburg

Fragen an die Eltern:
 Probleme mit den Gipsen: nein ja

Rötung
 Druckstelle
 Verrutschen --> Gipsneuanlage
 Schlafprobleme
 Sonstiges:

Verwendeter Schienentyp: ALFA Flex
 AFO
 Dennis-Brown

Durchschnittliche Schienentragzeit:

	Phase I (Ziel:24h)	Phase II (Ziel: beim schlafen)
tagsüber		
Mittagsschlaf		
nachts		
täglich (insg.)		

Schieneneinstellung: einseitig zweiseitig
 60° ; 30° andere

Probleme mit der Schiene: nein ja

Rötung
 Druckstelle
 Herausrutschen aus Schuhen
 Schlafprobleme
 Sonstiges:

Röntgen
 a.-p. talocalcaneärer Winkel _____
 a.-p. talometatarsele 1-Winkel _____
 lateral talocalaneärer Winkel _____
 lateral tibioalcaneärer Winkel _____
 lateral tibiotalarer Winkel _____

Scores
 Vorbehandlung: _____ Tage Wochen
 Alter bei Behandlungsbeginn: _____ Tage Wochen Mon.
 Pirani Score initial: _____
 Dimeglios Score initial: _____

Follow-up
 _____ Tage Wochen Mon.
 Alter: _____
 Pirani Score: _____
 Dimeglios Score: _____
 Laaveg und Ponseti Score: _____
 Atar Score: _____
 McKay Score: _____

2 von 2

Abb. 38: Formblatt zur Erhebung der Studiendaten, Seite 2 von 2.

8.2. Scores

Pirani Score
 0= normal 0,5 = moderat abnormal 1 = schwer abnormal

Mittelfuß

1.) Biegung Fußaußenrand _____

2.) mediale Falte _____

3.) talare Überdachung _____

Rückfuß

1.) hintere Falte _____

2.) rigider Spitzfuß _____

3.) „leere“ Ferse _____

Abb. 39: Formblatt zur Untersuchung des Scores nach Pirani.

Score nach Dimeglios (max. 20P)

Ausmaß der Redressierbarkeit mit Fingergoniometer bestimmen:

Einzelkriterien:

Posteriore Hautfalte ja (1 P) nein (0 P)

Mediotarsale Hautfalte ja (1 P) nein (0 P)

Excavatus vorhanden ja (1 P) nein (0 P)

Muskulatur betroffen ja (1 P) nein (0 P)

Gruppe I max 4 Punkte _____ von 4 Punkten

Adduktionskomponente des Vorfußes in der Horizontalebene

Redressionsstellung	90° - 45°	4
Redressionsstellung	45° - 20°	3
Redressionsstellung	20° - 0°	2
Redressionsstellung	0° - -20°	1
Redressionsstellung	-20°	0

_____ von 4 Punkten

Varuskomponente in der Frontalebene

Redressionsstellung	90° - 45°	4
Redressionsstellung	45° - 20°	3
Redressionsstellung	20° - 0°	2
Redressionsstellung	0° - -20°	1
Redressionsstellung	-20°	0

_____ von 4 Punkten

Equinuskomponente in der Sagittalebene

Redressionsstellung	90° - 45°	4
Redressionsstellung	45° - 20°	3
Redressionsstellung	20° - 0°	2
Redressionsstellung	0° - -20°	1
Redressionsstellung	-20°	0

_____ von 4 Punkten

Abb. 40: Formblatt zur Untersuchung des Score nach Dimeglio, Seite 1 von 2.

Derotation des Fersenbeins in der Horizontalebene			
Redressionsstellung	90° - 45°	4	
Redressionsstellung	45° - 20°	3	
Redressionsstellung	20° - 0°	2	
Redressionsstellung	0° - -20°	1	
Redressionsstellung	-20°	0	
			_____ von 4 Punkten
<hr/>			
Gesamtpunktzahl			_____ von 20 Punkte
Typ I	soft - soft	0-5	Punkte
Typ II	soft - stoff	5-10	Punkte
Typ III	stiff - soft	10-15	Punkte
Typ IV	stiff - stoff	15-20	Punkte
TYP	soft-soft	soft-stiff	
	Stiff-soft	stiff-stiff	

Abb. 41: Formblatt zur Untersuchung des Scores nach Dimeglio, Seite 2 von 2.

Laaveg und Ponseti			
Satisfaction	<i>Ich bin...I am</i>		
	sehr zufrieden mit dem Endresultat/ very satisfied with the end result	20	
	zufrieden mit dem Endresultat/ satisfied with the end result	16	
	weder zufrieden noch unzufrieden mit dem Endresultat/ neither satisfied nor unsatisfied with the end result	12	
	unzufrieden mit dem Endresultat/ unsatisfied with the end result	8	
	sehr unzufrieden mit dem Endresultat/ very unsatisfied with the end result	4	
Function	<i>Mein Klumpfuß im Alltag/ In my daily living, my club foot</i>		
	schränkt meine Tätigkeiten nicht ein/ does not limit my activities	20	
	schränkt mich gelegentlich bei anstrengenden Tätigkeiten ein/ occasionally limits my strenuous activities	16	
	schränkt mich normalerweise bei anstrengenden Tätigkeiten ein/ usually limits me in strenuous activities	12	
	schränkt mich gelegentlich bei alltäglichen Tätigkeiten ein/ limits me occasionally in routine activities	8	
	schränkt mich beim Laufen ein/ limits me in walking	4	
Pain	<i>Mein Klumpfuß/ My club foot</i>		
	schmerzt nie/ is never painful	30	
	schmerzt gelegentlich ein bisschen während anstrengenden Tätigkeiten/ occasionally causes mild pain during strenuous activities	24	
	schmerzt normalerweise nur nach anstrengenden Tätigkeiten/ usually is painful after strenuous activities only	18	
	schmerzt gelegentlich bei alltäglichen Tätigkeiten/ is occasionally painful during routine activities	12	
	schmerzt beim Laufen/ is painful during walking	6	
Position of heel when standing	Heel varus, 0° or some heel valgus	10	
	Heel varus, 1° - 5°	5	
	Heel varus, 6° - 10°	3	
	Heel varus, greater than 10°	0	
Passive motion	Dorsiflexion (1 point per 5°)	max. 5	
	Total varus-valgus motion of heel (1 point/10°)	max. 3	
	Total anterior inversion-eversion of foot (1 point/25°)	max. 2	
Gait (10 points)	Normal	6	
	Can toe-walk	2	
	Can heel-walk	2	
	Limp	-2	
	No heel-strike	-2	
	Abnormal toe-off	-2	
Results:	90 - 100	points	excellent
	80 - 89	points	good
	70 - 79	points	fair
	< 70	points	poor

Abb. 42: Formblatt zur Untersuchung des Scores nach Laaveg und Ponseti.

Atar

Ankle dorsiflexion (passive motion)	> 90° <i>dorsal</i>	15
	90 0°	5
	< 90° <i>plantar</i>	0
Position of heel when standing	0° - 5° valgus	10
	> 5° valgus	5
	Varus	0
Gait (total of 10 points)	Normal heel/toe gait	10
	cannot heel-walk	-2
	cannot toe-walk	-2
	Flatfoot gait	-4
Shoe	Regular, no complaint	5
	Regular, complaints	2
	Orthopedic shoe, inserts and braces	0
Pain	Never	10
	Occasionally	5
	Usually	0
Subtalar joint (passive motion)	≥ 15°	10
	< 15°	5
	Stiff	0
Forefoot appearance	Neutral	10
	≤ 5° add./abduction	5
	> 5° add./abduction	0
Roentgenogram	TC index ≥ 40° *	5
	< 40°	0
	T-Met-1st angle ≤ 10°	5
	> 10°	0
Function	No limit	15
	Occasional limits	8
	Usually limited	0
Flexor tendons	Full function	5
	Partial function	3
	No function	0
Results:	85 - 100 points	excellent
	70 - 84 points	good
	60 - 69 points	fair
	< 60 points	poor

* TC index is the sum of the T-C angle lateral and anteroposterior; TC= talocalcaneal; T-met-1st= talus first metatarsal angle

Abb. 43: Formblatt zur Untersuchung des Scores nach Atar.

Score nach McKay

Ankle motion	<i>dorsal (von neutral)</i>	<i>plantar Flexion</i>	<i>Total ROM</i>	
	More than 90°	Less than 90°		
	10°	40°	50°	0
	10°	30°	40°	-10
	10°	25°	35°	-20
	Less than 10°	Less than 25°	Less than 35°	-30
Angle of bimalleolar plane to longitudinal plane of foot	83°- 90°		0	
	76°- 82°		-10	
	50°- 75°		-20	
Strenght of triceps surae	Weight supported on toes, one foot only		0	
	Weight supported on toes, both feet		-10	
	Weight not supported on toes		-20	
Heel	0- 5° valgus		0	
	5°- 10° valgus		-5	
	More than 10° valgus		-10	
	Varus		-10	
Forefoot	Neutral		0	
	to 5° adduction or abduction		-5	
	over		-10	
Flexor hallucis longus	Functional		0	
	Nonfunctional		-10	
Ankle pain (SG)	Konstant behindert/ Constantly disabling		-30	
	tolerabel während alltäglichen Tätigkeiten/ Tolerable during daily activities		-20	
	hinken am Abend/ Limping at end of day		-10	
	stört nur beim Rennen/ Interferes only with running		-5	
Subtalar pain (USG- SG fixiert)	Konstant behindert/ Constantly disabling		-20	
	tolerabel während alltäglichen Tätigkeiten/ Tolerable during daily activities		-15	
	hinken am Abend/ Limping at end of day		-10	
	stört nur beim Rennen/ Interferes only with running		-5	
Shoe wear	Stylish shoe foregone option		-5	
	Foot deforms shoes		-10	
	Shoes do not fit		-15	
Sports	Competitive		0	
	Noncompetitive because of foot		-15	
Results:	175 - 180	points	excellent	
	160 - 174	points	good	
	125 - 159	points	fair	
	90 - 124	points	poor	
	Below 90	points	failure	

Abb. 44: Formblatt zur Untersuchung des Scores nach McKay.

9. Veröffentlichung

Jung J., Anagnostakos K., Ludwig J., Kohn D. (2011), *Eine prospektive Studie zur Klumpfußtherapie und Komplikationen*. Vortrag 25. Jahrestagung der Vereinigung für Kinderorthopädie, Arnstadt

10. Danksagung

Mein großer Dank geht an Herrn Prof. Dr. med. D. Kohn, dem Direktor der Klinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes, für die Möglichkeit an seiner Klinik zu Promovieren und die wertvollen Ratschläge.

Herrn Dr. med. Jochen Jung danke ich für die Unterstützung dieser Studie, sowie die Bereitschaft, mir als Betreuer und Koordinator jederzeit für Fragen und Hilfestellungen zur Verfügung zu stehen. Insbesondere aber Danke dafür, mir die Begeisterung an der Kinderorthopädie gezeigt zu haben.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr. Gräber und Herrn R. Rößler für die Beratung bezüglich der statistischen Auswertung der Studie danken.

Danke an meine Freunde und Familie die mir stets als Unterstützung und auch Erinnerung bei und an diese Arbeit dienten. Insbesondere danke ich Herrn Johannes Thomas, für die Konstruktion eines einzigartigen Podoraphen und meiner Patentante Christiane Thielmann für die aufmerksame Durchsicht der Arbeit.

Danke an Janet und Peter Curtis die mich jederzeit Willkommen heißen und mir die Möglichkeit zum Durchatmen und Auftanken geben.

Ein großes „Merci“ möchte ich an Herrn Dr. med. Albrecht Heitner richten, in dem ich einen chirurgischen Mentor gefunden habe und ohne den diese Arbeit ein späteres Datum tragen würde.

Meinen Eltern gebührt mein tiefster Dank für die ständige, selbstlose und großzügige Unterstützung in meinem Leben.

Danke an Roland, der mich die letzten Meter geschoben – und getragen hat.