

Aus der Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie
der Westfälischen Wilhelms - Universität Münster
Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. W. Winkelmann

Pedobarometrische Analyse
der Restdeformität nach Klumpfußkorrektur

INAUGURAL- DISSERTATION

zur
Erlangung des doctor medicinae
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms - Universität Münster

vorgelegt von
Christiane Schinkhof
Dortmund

2003

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen
Wilhelms - Universität Münster

Dekan: Univ.- Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Priv.- Doz. Dr. D. Rosenbaum

2. Berichterstatter: Priv.- Doz. Dr. D. Drerup

Tag der mündlichen Prüfung: 31.10.2003

Aus der Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie
der Westfälischen Wilhelms - Universität Münster

-Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. W. Winkelmann-

Referent: Priv.- Doz. Dr. D. Rosenbaum

Koreferent: Priv.- Doz. Dr. D. Drerup

ZUSAMMENFASSUNG

Pedobarometrische Analyse der Restdeformität nach Klumpfußkorrektur

Christiane Schinkhof

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der klinisch-radiologischen und pedobarometrischen Analyse der Restdeformität nach operativer Korrektur kindlicher, idiopathischer Klumpfüße. Die Daten von 41 in der Universitätsklinik Münster operierten im Alter zwischen 3,3 und 12,8 Jahren nachuntersuchten einseitig betroffenen Patienten mit einem durchschnittlichen postoperativen follow-up von 6,6 Jahren werden dabei berücksichtigt. Die klinisch-radiologischen Ergebnisse werden dazu mit Hilfe der Scores von Macnicol und McKay beurteilt und in einen Zusammenhang mit den pedobarometrischen Daten gesetzt. Dieses Vorgehen ermöglicht es, signifikante Unterschiede zwischen betroffenen und nicht betroffenen Füßen bei der Pedobarometrie vor dem Hintergrund der klinischen Untersuchung herauszustellen und innerhalb eines Bewertungsschemas zusammenzufassen.

Das durchschnittliche Ergebnis bei der Auswertung des Scores nach Macnicol beträgt 102 (Minimum 55, Maximum 120) von 130 möglichen Punkten, bei McKay 140 (Minimum 75, Maximum 180) von 180 möglichen Punkten. Hochsignifikante Parameter ($p < 0,01$) für ein gutes klinisch-radiologisches Ergebnis sind dabei die Vorfußstellung, das Ausmaß der Dorsalextension, die Anzahl der möglichen toe-ups, der Wert des lateralen talokalkanearen, des a.-p. bimalleolären und des talo-Metatarsal I Winkels. Mit Hilfe der Pedobarometrie können eine erhöhte Mittelfuß- und eine verstärkte Lateralisation der Vorfußbelastung bei betroffenen Füßen beschrieben werden. Die große Anzahl pedobarometrischer Parameter lässt sich durch die besonders für die Beschreibung der Veränderungen bei Klumpfüßen geeignete Einteilung des Fußes in einen medialen und einen lateralen Bereich reduzieren. Der lateromediale Impuls stellt dabei einen Parameter dar, der eine hohe Korrelation zu den klinisch-radiologischen Ergebnissen aufweist und eine objektive, differenzierte Betrachtung der dynamischen Restdeformität ermöglicht.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
1.1. Pathoanatomie.....	5
1.2. Therapie	7
1.3. Bewertungsmöglichkeiten.....	9
1.4. Fragestellung der Studie	11
2. Material und Methodik	12
2.1. Patienten.....	12
2.2. Therapie	14
2.3. Methodik.....	16
2.3.1. Klinische Untersuchung.....	17
2.3.2. Subjektiver Fragebogen	18
2.3.3. Radiologische Untersuchung	18
2.3.4. Scores.....	21
2.3.5. Pedobarometrische Untersuchung	21
2.3.6. Statistische Auswertung.....	25
3. Ergebnisse.....	27
3.1. Klinische Untersuchung.....	28
3.2. Subjektive Zufriedenheit.....	32
3.3. Radiologische Untersuchung	33
3.4. Scores.....	36
3.5. Korrelationsanalysen	37
3.6. Pedobarometrische Untersuchung	40
3.6.1. Variabilität der pedobarometrischen Untersuchung	40
3.6.2. Auswertung der Gesamtfläche.....	42
3.6.3. Auswertung der zehn prc-Maskenbereiche:.....	42
3.6.4. Auswertung der zwei LM-Maskenbereiche.....	45
3.6.5. Korrelation der pedobarometrischen Ergebnisse mit den Ergebnissen der Scores.....	45
3.6.6. Der lateromediale Impuls.....	47
3.7. Fallbeispiele	52

4. Diskussion.....	56
4.1. Diskussion der Methodik	59
Subjektive Beurteilung	59
Klinische Untersuchung.....	59
Radiologische Untersuchung	60
Scores	60
Pedobarometrie	61
4.2. Diskussion der subjektiven Zufriedenheit und der Aktenanalyse.....	62
4.3. Diskussion der klinischen Ergebnisse.....	64
4.4. Diskussion der radiologischen Ergebnisse	67
4.5. Diskussion der Scores	70
Vergleich der Ergebnisse der Scores von Macnicol und McKay	70
Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien.....	72
4.6. Diskussion der pedobarometrischen Ergebnisse.....	74
4.6.1. Andere Studien zur Evaluation der dynamischen Restdeformität	74
4.6.2. Die Studien von Widhe und Cooper	76
4.6.3. Diskussion der eigenen Ergebnisse.....	77
4.6.4. Schlussfolgerung.....	81
5. Fragebogen.....	82
6. Scores	83
7. Literaturverzeichnis	85
8. Lebenslauf.....	92

1. Einleitung

“...Bei denjenigen, welche von Geburt an einen krummen Fuß haben, ist dieser Zustand in den meisten Fällen zu heilen, es müsste denn die Verbiegung eine sehr bedeutende sein... . Man muss wie ein Wachsbildner die in widernatürlicher Weise verbogenen und verzerrten Teile in ihre richtige natürliche Lage zurückzuführen suchen, indem man einerseits mit den Händen, andererseits mit dem Verbande, und zwar in ähnlicher Art, die Einrichtung bewirkt...” Hippokrates ^[36]

Die Behandlung und Bewertung von idiopathischen Klumpfüßen wird seit den Zeiten des Hippokrates kontrovers diskutiert. Wurden die ersten in der Literatur erwähnten Klumpfüße ausschließlich konservativ behandelt, werden in der heutigen Zeit verschiedene Behandlungsschemata entwickelt, die unter anderem frühe operative Eingriffe beinhalten. Die Diskussion über die Vor- und Nachteile konservativer und operativer Verfahren kann trotz einer großen Zahl von Publikationen, die die Ursache und die Therapie von Klumpfüßen betreffen, nicht hinreichend beantwortet werden. Zusätzlich entstehen Kontroversen bezüglich des Operationsalters, der Operationstechnik und der Bewertungsmethodik der Ergebnisse. Eine kritische Beurteilung der Behandlungserfolge wird gefordert, da bei der Mehrzahl der Füße Residualdeformitäten bzw. Rezidive entstehen. Im Durchschnitt sind postoperativ 25% schlechte Ergebnisse zu erwarten, bei denen eine Reoperation in Frage kommt ^[3]. Um die Indikationsstellung für weitere gegebenenfalls erneute chirurgische Vorgehen zu erleichtern und eine langfristige Kontrollmöglichkeit des Therapieverlaufs zu haben, kann die Restdeformität anhand von klinischen, radiologischen und subjektiv erfassten Parametern evaluiert werden. Eine standardisierte Bewertung der Ergebnisse ist mit Hilfe von verschiedenen Scores möglich, jedoch werden derartige Scores von vielen Seiten kritisiert: es werden unter anderem der Schweregrad der Deformität post partum und die verschiedenen Operationstechniken nicht berücksichtigt, die Kombination aller Untersuchungsergebnisse führt zu einer unzureichenden individuellen Differenzierung der Ergebnisse und die verschiedenen Scores gewichten die einzelnen Parameter unterschiedlich stark ^[1, 5, 7, 15, 35, 70, 72, 85]. Deshalb wird gefordert, dass zur Beurteilung der Klumpfußtherapie objektivere und sensitivere Untersuchungen durchgeführt werden

sollen, auch unter Berücksichtigung der dynamischen Komponente der Deformität, die mit etablierten Methoden jedoch schwer zu quantifizieren ist ^[33, 50].

Eine Möglichkeit zur Untersuchung der Fußfunktion stellt die Pedobarometrie dar. Dies ist eine Methode, die es ermöglicht, den Fuß nicht nur statisch, sondern auch in seiner Dynamik objektiv zu erfassen. Zum Thema Pedobarometrie bei Residualklumpfüßen existieren bisher nur zwei veröffentlichte Studien von Widhe und Berggren aus dem Jahr 1994 ^[85] und von Cooper und Dietz aus dem Jahr 1995 ^[22], die sich ausführlich mit der Möglichkeit der Fußdruckmessung bei Klumpfüßen beschäftigen und mit denen die Ergebnisse der vorliegenden Studie verglichen werden sollen.

Die Ergebnisse der Studie von Widhe stützen sich auf 62 Klumpfüße, wobei die 22 einseitig betroffenen Patienten die Ergebnisse der pedobarometrischen Untersuchung lieferten, da bei ihnen ein Vergleich mit der nicht betroffenen Seite möglich war. Bei den Klumpfüßen wurden ein erniedrigter Druck, eine vergrößerte Belastungsfläche, eine Lateralisierung des Druckzentrums und ein verstärkt innenrotiertes Gangbild gefunden. Cooper und Dietz untersuchten 54 Klumpfüße u.a. pedobarometrisch nach, deren Ergebnisse mit den Messungen von 14 "normalen" Füßen der nicht betroffenen Seite verglichen wurden. Es konnten verminderte Druckbelastungen der Ferse und der Metatarsalköpfe und vermehrte Belastungen des Mittelfußes und der lateralen Zehen festgestellt werden. Auch wurde ein Zusammenhang zwischen Veränderungen der Werte des Druck-Zeit-Integrals des gesamten Fußes bei der Pedobarometrie und nicht zufriedenstellenden radiologischen und klinischen Ergebnissen hergestellt.

Beide Studien leisten eine Beschreibung der pedobarometrischen Veränderungen bei betroffenen Füßen, eine Zusammenfassung der Ergebnisse und eine Reduzierung der zahlreich vorhandenen Parameter auf einige wenige, die im Klinikalltag relevant sein könnten, bleibt jedoch aus. Dies ist aber notwendig, um eine derartige Analyse anschaulicher zu gestalten und in der Klinik zu etablieren. Die vorliegende Studie beschäftigt sich deshalb zunächst mit der Bewertung von Klumpfüßen anhand zweier etablierter Scores nach Macnicol et al. ^[50] und McKay ^[57], welche die Grundlage für die Analyse der pedobarometrischen Nachuntersuchung bilden. Eine derartige Methode könnte zu einer diffizileren Bewertung der Restdeformität führen und Entscheidungshilfen für das weitere Vorgehen geben.

1.1. Pathoanatomie

Der idiopathische Klumpfuß ist eine komplexe Fußfehlbildung die von anderen, ihr nahestehenden Krankheitsbildern, wie einer Klumpfußhaltung, einem kongenitalen Pes adduktus, einem neurogenen Klumpfuß oder einem Klumpfuß bei Arthrogrypose abzugrenzen ist. Beim idiopathischen Klumpfuß treten keine anderen primären Fehlbildungen der Gefäße, Nerven, Muskeln oder Sehnen auf. Klinisch lassen sich vier Komponenten der Deformität unterscheiden, die in verschiedenen Ausprägungen auftreten:

- Equinus im Rückfuß (Spitzfuß)
- Varus im Rückfuß (Supinationsstellung des Fersenbeins)
- Exkavatus im Mittel- und Vorfuß (Hohlfuß)
- Adduktus im Mittel- und Vorfuß (Sichelfuß) ^[34]

Die bei einem Klumpfuß zugrundeliegenden Fehlstellungen sind auf Veränderungen der Knochen, Muskeln, Sehnen und Bandstrukturen zurückzuführen. Eine eindeutige Zuordnung der Veränderungen in primäre und sekundäre Deformitäten ist durch das Zusammenspiel der komplexen knöchernen, muskulären und ligamentären Pathologien hierbei jedoch schwierig ^[27, 29].

Das Schlüsselgelenk des Klumpfußes bildet das talo-kalkaneo-navikulare Gelenk ^[14, 24, 25, 43, 55, 64]. Durch eine veränderte Form, Grösse und Beziehung der tarsalen Knochen zueinander resultiert eine Luxation des Taluskopfes aus seiner Gelenkpfanne, ähnlich einer Luxation des Femurkopfes aus dem Acetabulum bei einer Hüftluxation, weshalb dieses Gelenk von einigen Autoren als „Coxa pedis“ bzw. auch „Acetabulum pedis“ bezeichnet wird ^[64]. Da der Talus in einer Spitzfußstellung fixiert wird ^[14, 64], tritt er aus der Malleolengabel heraus, der vordere Teil seiner superioren Gelenkfläche hypertrophiert ^[63, 64] und ist deshalb schwer reponierbar. Der Taluskopf ist verformt, der Talushals ist kürzer als bei normal entwickelten Füßen und nach medial abgewinkelt ^[14]. Aus der schweren Spitzfußstellung des Sprungbeins resultiert durch einen „Nussknackereffekt“ der Malleolengabel und des Fersenbeins eine Abflachung des Talusdoms ^[14]. Die Form des Kalkaneus ist weniger schwerwiegend verändert ^[14, 55, 64], jedoch ist die Beziehung zum Talus durch eine horizontale Rotation um das Ligamentum interosseum, welches verkürzt ist und dadurch die pathologische

Fehlstellung stabilisiert, aufgehoben ^[25, 55, 64]. Bedingt durch die bandartigen Verbindungen der Fußknochen untereinander bringt diese Rotation den gesamten Rückfuß in eine Varusstellung ^[31]. Die Topographie des bei einem Klumpfuß in der Regel keilförmigen Os naviculare ^[63] und des Kuboids ist durch eine mediale Luxation dieser Knochen gekennzeichnet, die ihrerseits durch den Zug der muskulären Ansätze, besonders des M. tibialis posterior, verstärkt wird. Im oberen Sprunggelenk ist die Rotation der bimalleolären Achse durch eine posteriore Stellung des fibulären Malleolus bedingt ^[14, 55]. Die anderen Skelettstrukturen sind mit Ausnahme von gelegentlichen Unterschenkeldeformitäten und daraus resultierenden Beinverkürzungen normal ausgebildet ^[64].

Weitere pathologische Veränderungen finden sich bei Betrachtung der Unterschenkel- und Fußmuskulatur. Dem M. tibialis posterior wird als einem die Deformität primär beeinflussenden Muskel („Klumpfußmuskel“) hierbei ein besonderer Stellenwert zugewiesen ^[14]. Es besteht eine durch Verkürzung, Verdickung und Fibrose der dorsomedialen und plantaren Muskulatur hervorgerufenes Ungleichgewicht, welches mit Hilfe elektrophysiologischer Untersuchungen als eine Dysfunktion zentraler (Rückenmark) und peripherer Nerven (N. peroneus, N. tibialis posterior) nachgewiesen werden konnte ^[29]. Histologische Untersuchungen belegten eine relative Inaktivität bzw. Wachstumsstörung der Sehnenzellen in den entsprechenden Muskeln, die signifikant weniger Zell- und Zytoplasmavolumen aufwiesen ^[27]. Zusätzlich wurde eine verminderte Länge und Zahl der Fasern im distalen Drittel der Muskeln des dorsomedialen Unterschenkelabschnitts gefunden ^[43]. Durch einen veränderten Ansatz der Muskulatur am knöchernen Fußskelett (Achillessehne und M. tibialis posterior medialisiert, M. tibialis anterior anteriorisiert ^[64]) werden die pathologischen Beziehungen der Knochen untereinander verstärkt. Eine verstärkte Plantarflexion durch die Flexoren der Zehen erzeugt eine Hohlfußfehlstellung. Auch die medialen, dorsalen und plantaren Bandstrukturen des Fußskeletts sind verkürzt und verdickt ^[14, 24, 25, 43]. Einziehungen der Bänder in die Gelenke des dorsalen und medialen Sprunggelenkabschnitts wurden von Ippolito gefunden ^[43].

1.2. Therapie

Ziel der konservativen und operativen Behandlung sollte immer ein weitestgehender Ausgleich aller Komponenten der Klumpfußdeformität sein ^[63]. Der betroffene Fuß sollte sich in seinem kosmetischen Aussehen, seiner Beweglichkeit, seiner Belastbarkeit, seiner Beschwerdefreiheit und der Schuhversorgung so wenig wie möglich vom normalen Fuß unterscheiden. Jedoch kann dieses Ideal in der Realität nicht erfüllt werden. Besonders die Beweglichkeit und die Größe der Füße entsprechen in vielen Fällen nicht den Wünschen der Betroffenen und der Therapeuten.

Die Behandlung eines idiopathischen Klumpfußes besteht aus mehreren konservativen und operativen Therapieoptionen.

Übereinstimmend wird in den Publikationen der verschiedensten Autoren der Beginn einer konservativen Therapie in den ersten Lebenstagen gefordert ^[12, 20, 42, 56, 63, 67, 78, 83, 88]. Die konservative Therapie umfasst manuelle Redression, krankengymnastische Übungsbehandlung, Klebeverbände, Gipsretention, und den Einsatz von orthopädischen Hilfsmitteln wie z.B. Schienen. Führt diese konservative Therapie nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen, ist ein chirurgischer Eingriff erforderlich. Der geeignete Zeitpunkt dieses Eingriffs wird von den verschiedenen Autoren diskutiert. Während nach Ponseti ^[66] als frühzeitiger Eingriff im zweiten Lebensmonat eine subkutane Achillessehnenentomie in Lokalanästhesie durchgeführt wird, raten viele andere Autoren ^[11, 20, 78, 82, 88] von einem derart frühen Eingriff ab.

Die in der Literatur immer wieder erwähnten und oft modifizierten Eingriffe lassen sich in drei Kategorien einteilen. Einige Autoren bevorzugen die standardisierte Anwendung eines Eingriffs auf jeden Klumpfuß ^[56, 79, 82], andere entscheiden individuell (à la carte) nach Deformitätsgrad, welche Operation in Frage kommt ^[11, 20, 52]. Im folgenden werden die drei Kategorien der Operationstechniken vorgestellt, die in den meisten Fällen in leicht modifizierter Form eingesetzt werden.

Dorsales Release ^[42]: Das alleinige dorsale Release, welches bei einer vorwiegenden Rückfußdeformität indiziert ist, sollte nicht vor einer ausreichenden Korrektur der Adduktions- und Varuskomponente durchgeführt werden. Diese Form der Operation beinhaltet eine Z-förmige Achillessehnenverlängerung, wobei der distale, laterale Anteil der Sehne am Kalkaneus belassen wird. Zusätzlich wird von dorsal die

Kapsel des oberen und unteren Sprunggelenks eröffnet und dadurch eine Entlastung der betreffenden Gelenke erreicht. Durch einen quer in den Kalkaneus eingebrachten und im Gips fixierten Kirschnerdraht wird die Fersenentwicklung gefördert.

Dorsomediales Release ^[82]: Das dorsomediale Release bewirkt durch ausgedehnte Durchtrennungen ligamentärer Strukturen auf der dorsalen und medialen Seite des Fußes eine Entspannung der verdickten und verkürzten Komponenten und verbessert dadurch die Stellung der Knochen zueinander. Über einen ausgedehnten dorsomedialen Zugang wird die Achillessehne verlängert und die Kapseln beider Sprunggelenke eröffnet. Zusätzlich werden die hinteren Anteile des Lig. deltoideum und das Lig. fibulokalkaneare inzidiert. Eine Korrektur des unteren Sprunggelenks wird mit Hilfe einer subtalaren Arthrolyse und der Durchtrennung des Lig. interosseum erreicht. Eine Durchtrennung der Sehne des M. tibialis posterior bewirkt eine Korrektur der Stellung des Os naviculare. Ein Kirschnerdraht wird zur Fixation des talonavikulären Gelenks eingebracht.

Dorso-medio-laterales Release ^[56, 78]: Diese Operationsart beinhaltet ein ausgiebiges Weichteilrelease der dorsalen, medialen, lateralen und plantaren Aspekte des Fußes. Mit Hilfe des Cincinnatti-Zugangs korrigiert sie speziell die horizontale subtalare Rotation des Kalkaneus, indem dieser komplett von den ihn umgebenden Strukturen gelöst wird. Zusätzlich wird eine Reposition des fehlgestellten Talus in die Malleolengabel und des talonavikulären Komplexes ermöglicht. Fixiert werden die Knochen mit Hilfe von drei Kirschnerdrähten, von denen einer das talonavikuläre Gelenk und zwei das talokalkaneare Gelenk sichern.

Die postoperative Nachsorge umfasst eine Röntgenkontrolle und eine Ruhigstellung des Fußes mittels Ober- und Unterschenkelgipsen innerhalb der nächsten Wochen. Andere konservative Maßnahmen wie Schienenbehandlung, krankengymnastische Übungsbehandlung, Bandagen, Einlagen und orthopädische Schuhe werden zur Mobilitätsverbesserung und Stabilisierung des Fußes eingesetzt.

1.3. Bewertungsmöglichkeiten

Die Erfolge der verschiedenen Behandlungsschemata sind oft schwer miteinander zu vergleichen, da unterschiedliche Bewertungsmethoden angewendet werden.

Es existieren zahlreiche Nachuntersuchungen an konservativ und operativ versorgten Füßen [11, 16, 48, 57, 59, 73, 79, 82, 87], doch lassen sich in den seltensten Fällen Rückschlüsse auf die Ausgangsdeformität ziehen. Die direkt nach der Geburt erfassten Klumpfüße werden aufgrund des fehlenden einheitlichen präoperativen Scores nicht ausreichend klassifiziert [18, 54, 69, 72, 84]. Eine Klassifikation in "leichte" und "schwere" Klumpfüße [6], welche eine Differenzierung zwischen Klumpfußhaltung und idiopathischem Klumpfuß darstellt, ist nicht sehr präzise und wird daher auch von den wenigsten Therapeuten benutzt. Von Harrold und Walker [32] wird eine Einteilung in drei verschiedene Grade vorgeschlagen: ein Grad 1 Fuß kann passiv in eine Neutralstellung gebracht werden, bei einem Grad 2 Fuß beträgt der Varus- bzw. Spitzfußwinkel zwischen 0 und 20°. Beträgt der Winkel mehr als 20°, wird der Fuß als eine Grad 3 Deformität bezeichnet. Eine weitere Möglichkeit der Einteilung ist die Unterscheidung von vier verschiedenen Schweregraden der Deformität nach Dimeglio et al. [28]. Hierbei entspricht der Grad I (soft-soft) einer Klumpfußhaltung, der Grad II (soft-stiff) einem mildem Klumpfuß, der meist durch aufwendige konservative Maßnahmen ausreichend therapiert werden kann, der Grad III (stiff-soft) einem Fuß mit schweren, nur teilweise redressierbaren Kontrakturen und der Grad IV (stiff-stiff), der schwersten Form, bei der eine pseudoarthrogrypotische Komponente vermutet wird und bei welcher ausnahmslos chirurgische Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Porter et al. [70] fordern zur besseren Dokumentation ein präoperatives Röntgenbild und eine Fotografie.

Da eine einheitliche Klassifikation fehlt und in den meisten Fällen keine der genannten Einteilungen angewendet wird, ist der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien schwierig. Die Patientenkollektive verschiedener Studien werden präoperativ nicht klassifiziert und deshalb kann aufgrund fehlender Informationen über die Ausgangsdeformität im Einzelfall keine objektive Beurteilung des Erfolges vollzogen werden.

Auch das Fehlen eines allgemein akzeptierten, standardisierten postoperativen Bewertungssystems bereitet Schwierigkeiten bei der Beurteilung und Vergleichbarkeit

der Validität der einzelnen Therapiekonzepte. Daher ist nur ein orientierender Vergleich mit anderen Studien möglich ^[13, 16, 20, 30, 44, 50, 54, 69, 71]. So beinhalten die Scores von Ponseti ^[65] und Wynne-Davies ^[86] nur klinische Kriterien, die Scores von Imhäuser ^[41], Laaveg et al. ^[48], McKay ^[57], Magone et al. ^[52] und Rumyantsev et al. ^[73] klinische und subjektiv von den Patienten beurteilte Kriterien und derjenige von Macnicol et al. ^[50] klinisch, subjektiv erfasste und radiologische Kriterien. Durch die unterschiedliche Gewichtung einzelner Komponenten der Scores wird eine eindeutige Bewertung eines Ergebnisses erschwert. So gewichten einerseits einige Autoren die subjektiven Kriterien stärker (Bjonness ^[15]: „the patient is the final judge of whether he has a good foot“), andere argumentieren, dass speziell bei Kindern die subjektive Wahrnehmung signifikant unterschiedlich ist ^[1] und deshalb die subjektiven Kategorien kritischer betrachtet werden müssen. Andererseits werden die radiologischen Kriterien aufgrund fehlender Korrelationen zu klinischen Parametern nicht akzeptiert ^[35, 46, 54], obwohl von einigen Autoren signifikante Korrelationen gefunden wurden ^[7, 19, 40, 44, 48, 87] und die Stellung der Knochen zueinander radiologisch am besten evaluiert werden kann. Studien über klinische Untersuchungen belegen unter anderem eine geringe Reliabilität ^[1, 7] der Ergebnisse, so dass auch diese Methodik kritisiert wird. Eine weitere Kontroverse wirft die Kombination aller Kriterien auf. Während Aronson et al. ^[1, 40] die Vermischung der Kriterien innerhalb eines Scores aufgrund der daraus resultierenden unzureichenden Differenzierung individueller Einschränkungen verurteilt, fordert Bensahel eine Beurteilung von Klumpfüßen anhand aller zur Verfügung stehenden klinischen, radiologischen und dynamischen Daten, wie auch eine Beurteilung des Gangbildes, Foto- und Videodokumentationen ^[10]. Auch Ghanem et al. ^[30] definiert nach einem Vergleich von 13 Scores einen idealen Score als einen, der auf alle Therapieschemata anwendbar ist und die Morphologie, die Funktion, die subjektive Zufriedenheit und die Variabilität zwischen verschiedenen Untersuchern berücksichtigt.

Ein weiteres Problem bei der Anwendung der Scores sind die unterschiedlichen Altersstrukturen der Patientenkollektive. Einige Studien berücksichtigen nur kurzfristige Ergebnisse, die sich unter Umständen bei einem erneuten Wachstumsschub verschlechtern können, andere Studien dokumentieren im Gegensatz dazu auch mittel- und langfristige Ergebnisse ^[22, 59].

Um im Vergleich von Langzeitergebnissen das beste Therapiekonzept aufzuzeigen, müssen deshalb neue Klassifikations- und Bewertungssysteme gefunden werden ^[70].

1.4. Fragestellung der Studie

Das Ziel dieser Studie ist es, die Ergebnisse der operativen Klumpfußkorrektur der Uniklinik Münster zwischen 1987 und 1999 klinisch, radiologisch und pedobarometrisch zu erfassen und mit anderen Studienergebnissen zu vergleichen.

Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche klinischen und radiologischen Ergebnisse konnten nach einer operativen Klumpfußtherapie in der Universitätsklinik Münster erzielt werden?
- Wird die Beurteilung der Ergebnisse durch die Anwendung verschiedener Bewertungsschemata beeinflusst?
- Welche klinisch-radiologischen Parameter korrelieren mit einem guten Ergebnis?
- Welche Unterschiede werden zwischen Klumpfüßen und kontralateralen Füßen bei der pedobarometrischen Untersuchung deutlich und wie lassen sich diese beschreiben?
- Kann mit Hilfe der pedobarometrischen Parameter ein Bewertungssystem für Klumpfüße entwickelt werden?
- Welche Zusammenhänge existieren zwischen klinisch-radiologischen Parametern und den Ergebnissen der Pedobarometrie?
- Kann die Restdeformität der betroffenen Füße mit Hilfe der Pedobarometrie objektiviert und differenziert dargestellt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen dienen die Daten von 41 in der Uniklinik Münster operierten und nachuntersuchten Patienten. Die Bewertung der Ergebnisse wird mit Hilfe zweier verschiedener etablierter Scores nach Macnicol et al. ^[50] und McKay ^[57] durchgeführt. Ausserdem wird bei jedem Patienten eine pedobarometrische Untersuchung durchgeführt und deren Ergebnisse mit den Daten der klinisch-radiologischen Untersuchung verglichen.

2. Material und Methodik

2.1. Patienten

Das Patientenkollektiv dieser Studie umfasste 61 Patienten mit unilateralen idiopathischen Klumpfüßen. Dieses Auswahlkriterium ermöglichte einen besseren Vergleich der Ergebnisse zwischen den Klumpfüßen und den kontralateralen Füßen. Besonders bei der pedobarometrischen Untersuchung konnten dadurch die Werte der betroffenen und kontralateralen Füße miteinander verglichen werden und präzisere Angaben über die Veränderungen der Druckbelastungen bei Klumpfüßen gemacht werden.

Von den zwischen 1987 und 1999 operierten Patienten wurden diejenigen von der Studie ausgeschlossen, die von einer anderen Grunderkrankung betroffen waren. Zu diesen anderen Erkrankungen gehörten Arthrogryposis multiplex congenita, Myelodysplasie, infantile Zerebralparese, partieller Querschnitt bei Meningozele bzw. Meningomyelozele, Spina bifida, Poliomyelitis oder andere neuromuskuläre und genetische Störungen.

Es wurden für diese Studie die einseitig betroffenen Patienten der Geburtsjahrgänge 1987 bis 1996 ausgewählt. Als untere Altersbegrenzung wurden drei Jahre festgelegt, da es bei der pedobarometrischen Untersuchung bei jüngeren Patienten zu erheblichen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten kommen kann. Daraus resultierte ein Gesamtkollektiv von 61 Patienten.

Auf der linken Seite waren 24 und auf der rechten Seite 37 Patienten betroffen. Das Verhältnis von männlichen zu weiblichen Patienten betrug 37:24. Aufgrund fehlender Daten konnten 14 Patienten nicht auffindig gemacht werden, die weiteren Patienten wurden schriftlich kontaktiert und telefonisch gebeten, an der Untersuchung teilzunehmen. Von den 61 operierten Kindern wurden 41 nachuntersucht und sechs kamen wegen mangelnden Interesses nicht.

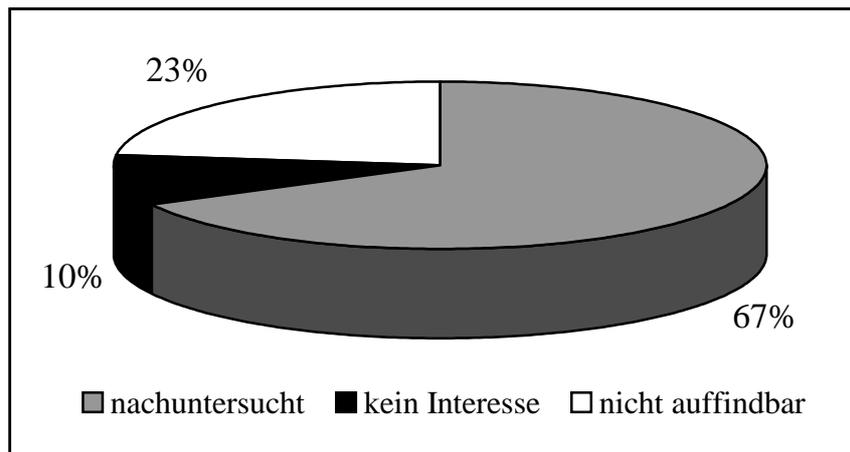


Abb.1: Patientenkollektiv

Im Folgenden werden die Daten der 41 nachuntersuchten Patienten näher beschrieben: Das Durchschnittsalter der Patienten betrug $8,3 \pm 2,7$ Jahre (Minimum 3,3, Maximum 12,8), die Altersstruktur war wie folgt verteilt:

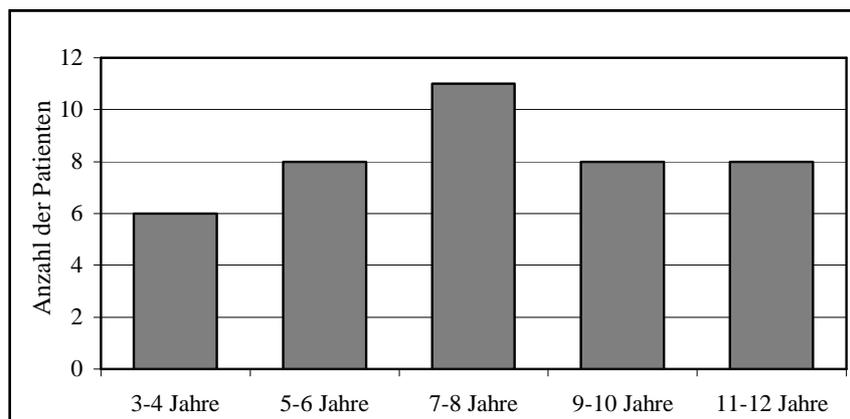


Abb.2: Altersstruktur des Patientenkollektivs

Die durchschnittliche postoperative follow-up Dauer betrug 6,6 Jahre, der kürzeste Zeitraum war zwei Monate, der längste 12,2 Jahre. Der Zeitpunkt der Ersteingriffe lag zwischen dem zweiten Lebensmonat und dem siebten Lebensjahr, wobei Eingriffe nach dem ersten Lebensjahr eine Ausnahme darstellten. Weitere Operationen wurden bis zu einem Alter von 8,8 Jahren durchgeführt. Die Erst-Operationen bestanden bei 25 Patienten aus einem dorsalen Release und bei 16 Patienten aus einem dorsomedialen Release. Nur ein Mal wurden 27 Patienten operiert, bei elf Patienten wurden zwei Operationen durchgeführt und drei Patienten mussten dreimal operativ versorgt werden.

2.2. Therapie

Die Therapie der Patienten in der Universitätsklinik Münster wurde mit Hilfe des folgenden Behandlungsschemas durchgeführt:

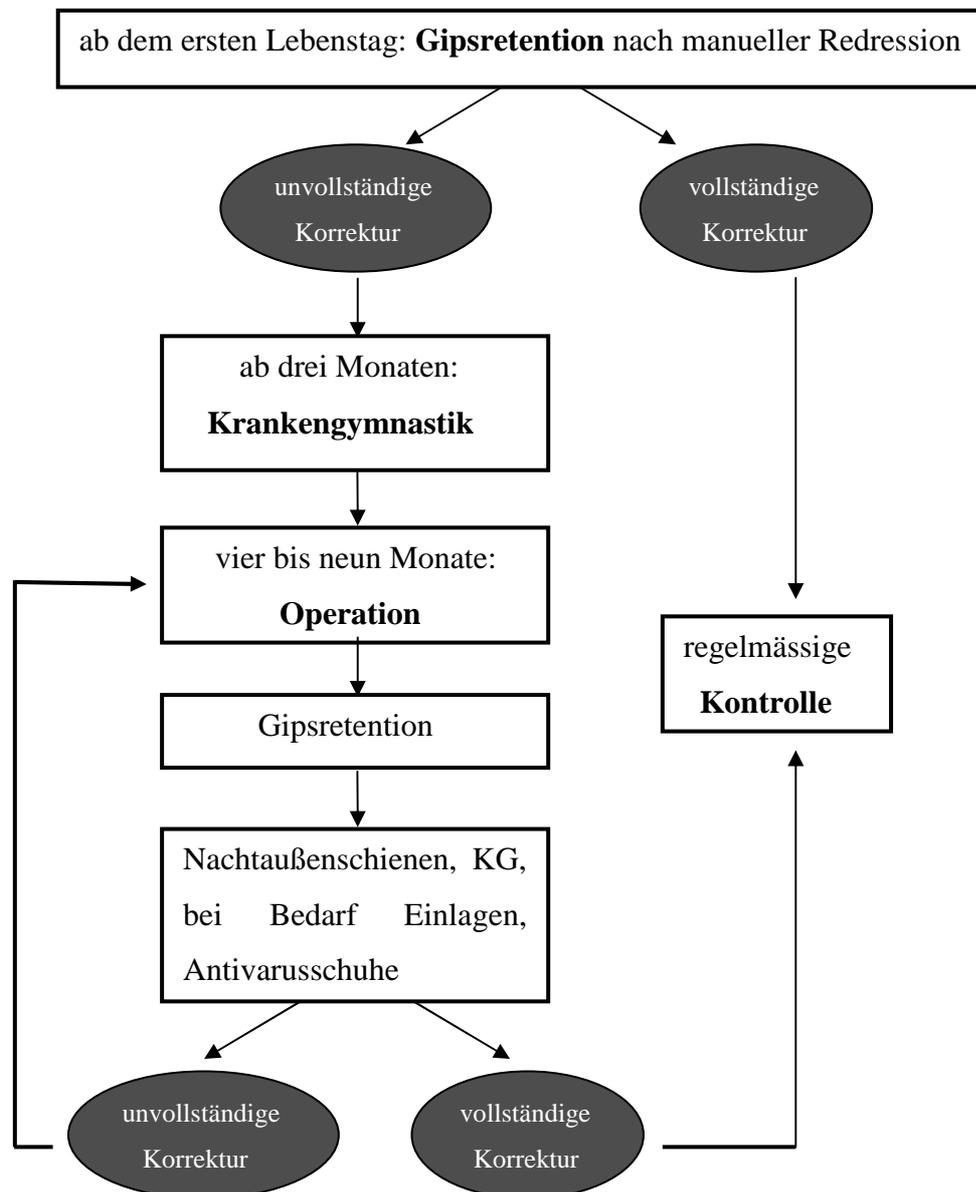


Abb.3: Behandlungsschema der Patienten der Universitätsklinik Münster

Wenn ein Klumpfuß bei der Neugeborenenuntersuchung U1 diagnostiziert wurde, begann die konservative Therapie direkt am Tag nach der Geburt mit manueller Redression und Anlage von Retentions-Oberschenkelgipsen in 90° Kniebeugung. Zu

diesem Zeitpunkt ist das Fußskelett noch überwiegend knorpelig angelegt und formbar, so dass durch konservative Maßnahmen eine ausreichende Korrektur erwartet werden kann.

Die Gipswechsel wurden zunächst zweitägig, nach zwei bis drei Wochen wöchentlich durchgeführt. Insgesamt wurde der Fuß über einen Zeitraum von drei Monaten schrittweise korrigiert. Diese langsame Redression ist notwendig, um Druckschädigungen der Haut zu vermeiden, das Weichteilgewebe langsam an die neue Position zu gewöhnen und eine akute Überkorrektur im Sinne eines Schaukelfußes zu vermeiden. Zuerst wurde die Hohlfußkomponente korrigiert, anschließend der Pes varus und supinatus und zuletzt erst die Spitzfußhaltung, da bei der konservativen Korrektur die Gefahr besteht, einen Schaukelfuß auszubilden ^[31, 41, 66].

Nach den drei Monaten der Gipstherapie wurde die Beweglichkeit im Fuß durch krankengymnastische Übungsbehandlung verbessert bis operative Maßnahmen ergriffen wurden. Ziel der konservativen Therapie war es, auch sehr rigide Füße auf eine bevorstehende Operation durch Verbesserung der Beweglichkeit und Dehnung der Haut und des Weichteilgewebes vorzubereiten.

Die operative Therapie idiopathischer rigider Klumpfüße kann in einigen Fällen, die durch eine leichte, gut redressierbare Ausprägung gekennzeichnet sind, vermieden werden ^[11, 23, 40, 56, 90]. Führt die konservative Therapie jedoch nicht zu einer ausreichenden Korrektur, insbesondere der Fehlstellung des talokalkaneo-navikularen Gelenkkomplexes (Coxa pedis), ist eine Operation unumgänglich. Indikation zur operativen Versorgung stellte eine unvollständige Redression mit Hilfe der konservativen Therapieverfahren (Gipsretention, Krankengymnastik, Nachtschienenbehandlung) dar. Sobald dort keine Fortschritte mehr erzielt werden konnten, war eine Operation indiziert.

Der Operationszeitpunkt wurde in der Regel zwischen dem dritten und fünften Lebensmonat gewählt, in einigen Fällen wurde der Ersteingriff später durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war eine Beurteilung des Erfolgs der konservativen Therapie anhand klinischer und radiologischer Parameter möglich und der Fuß war groß genug für ein operatives Vorgehen. Die Operationsart wurde individuell durch die verbleibende Deformität bestimmt (à la carte) ^[11, 59], wobei dorsale Releaseoperationen in unserem Hause in der Technik nach Imhäuser ^[41] und dorsomediale Releaseoperationen nach

Turco ^[82] durchgeführt wurden. Für den Ersteingriff bei diesem Patientenkollektiv bestimmte die Ausprägung der Restdeformität die Auswahl der entsprechenden Operationstechnik. Bei den Sekundär- und Tertiäreingriffen wurden ausschließlich Weichteiloperationen am Fußskelett durchgeführt.

Für alle Klumpfüße, die operativ versorgt wurden, begann direkt nach Abschluss der Gipstherapie eine intensive Nachbehandlung, um ein Wiederauftreten der Deformität zu verhindern. Das betroffene Bein wurde postoperativ durch einen gespaltenen Oberschenkelgips, der in 90° Flexion im Kniegelenk angelegt wurde, ruhiggestellt. War keine spannungsfreie Hautnaht möglich, konnte der Fuß nur in eine leichte Unterkorrekturstellung gebracht werden. Zusätzlich wurde das Bein in einer Überkopf-Extension gehalten, um Schwellungen des Fußes zu reduzieren. Der Wechsel auf einen zirkulären Gips erfolgte bei abgeschwollenem Fuß spätestens nach zehn bis zwölf Tagen. Zu diesem Zeitpunkt konnte das Nahtmaterial in der Regel entfernt werden. Der Gips verblieb für weitere vier Wochen und wurde nur bei hygienischen Problemen, weiterer Nachredression oder bei Entfernung der eingebrachten Kirschnerdrähte gewechselt. Danach erfolgte die Anpassung von Nachtaußenschienen in der orthopädischen Werkstatt. Bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung wurden neue Gipse angelegt.

Nach dieser Phase der Immobilisation zur Schonung der operierten Strukturen erfolgte die Wiederherstellung der Beweglichkeit und Kräftigung der Muskulatur durch krankengymnastische Übungsbehandlung, die sich in einigen Fällen über mehrere Jahre erstreckte. Zur unterstützenden Nachbehandlung wurden Nachtschienen sowie Dreibackeneinlagen oder Antivarusschuhe eingesetzt.

2.3. Methodik

Alle in der Studie erfassten Patienten wurden klinisch, radiologisch und pedobarometrisch nachuntersucht und die Eltern der Patienten füllten einen Fragebogen (s. Anhang) aus.

2.3.1. Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung gliederte sich in eine allgemeine und eine spezielle orthopädische Untersuchung auf. Die allgemeine Untersuchung beinhaltete eine Anamnese und die Messung von anthropometrischen Daten (Größe, Gewicht). Bei der orthopädischen Untersuchung wurden die Bewegungsumfänge des oberen und unteren Sprunggelenks beider Füße gemessen. Dazu wurden die Winkelgrade der maximalen Dorsalextension und Plantarflexion des oberen Sprunggelenks in Rückenlage und der Pronation und Supination des unteren Sprunggelenks in Bauchlage nach der Neutral-Null-Methode mit einem Goniometer ermittelt ^[24]. Zusätzlich wurde die Vorfuß- und Fersenstellung beurteilt. Dabei konnten die Füße in fünf verschiedene Kategorien eingeteilt werden, die von $>5^\circ$ Varus, $0-5^\circ$ Varus über neutral/ passiv korrigierbar bis zu $0-5^\circ$ Valgus und $>5^\circ$ Valgus reichten. Anschließend wurde die Trizepskraft geprüft, wobei die Patienten einen einseitigen Zehenstand durchführen sollten und die Anzahl der gegebenenfalls möglichen Wiederholungen (toe-up- Test) gezählt wurde. Die klinische Untersuchung schloss auch die Funktionsprüfung des Musculus flexor hallucis longus ein und eine Beurteilung der Narbenverhältnisse, die in die Kategorie „zart und wenig aufragend“ oder in die Kategorie „weit und empfindlich“ eingeteilt wurde. Der durchführbare Fersengang gab Informationen über die Kraft der Fußextensoren.



Abb.4: Patient auf dem Podoskop, Beurteilung der Narbenverhältnisse und der Fersenstellung

2.3.2. Subjektiver Fragebogen

Durch die Beantwortung des Fragebogens (s. Anhang) konnte die subjektive Einschätzung der Situation von Seiten der Patienten bzw. seiner Eltern erfasst werden. Die Patienten machten Angaben zu Einschränkungen bei der Teilnahme an Freizeitaktivitäten, die durch Fehlfunktionen des operierten Fußes zustande kommen können. Auch beschrieben sie den Grad der Funktionseinschränkung des Fußes. Ausserdem schätzten sie ihre Zufriedenheit mit der Operation und Therapie ein. Eine weitere Frage wurde zur Schmerzanamnese gestellt, sie sollte die gegebenenfalls in dem betroffenen Fuß auftretenden Schmerzen schildern. Zum Schluss sollten noch Angaben zu Schwierigkeiten bei der Schuhversorgung gemacht werden.

2.3.3. Radiologische Untersuchung

Bei der radiologischen Untersuchung konnten 38 Patienten berücksichtigt werden. Drei Patienten, die klinisch und pedobarometrisch untersucht wurden, zeigten keine Compliance bei der radiologischen Untersuchung, aus diesem Grund konnten keine Röntgenbilder angefertigt werden. Die radiologischen Ergebnisse beziehen sich deshalb auf ein Kollektiv von 38 Patienten.

Es wurden von jedem Patienten zwei standardisierte Röntgenbilder des betroffenen Fußes im Stand angefertigt, eines im anteroposterioren und das zweite im lateralen Strahlengang. Bei beiden Aufnahmen belasteten die Patienten den Fuß so, dass der Fuß mit dem Unterschenkel einen rechten Winkel bildete. Mit Hilfe der Röntgenbilder konnten Winkelmessungen durchgeführt werden, um Parameter für den Grad der Deformität zu bestimmen ^[8, 44, 45, 75, 77].

Anteroposteriorer Strahlengang:

Der talokalkaneare und der bimalleoläre Winkel zeigen charakteristische Veränderungen bei Klumpfußpatienten ^[35, 44, 45, 56, 68, 75]. Zusätzlich wurde auf diesen Röntgenbildern der talo-Os metatarsale I und der kalkaneo-Os metatarsale V Winkel ausgemessen ^[16, 20, 22, 77]. Um den talokalkanearen Winkel zu ermitteln, legte man durch die Längsachsen des Talus und des Kalkaneus je eine Winkelachse. Die auf den

Röntgenbildern im antero-posterioren Strahlengang gemessenen talo-kalkanearen Winkel lassen eine Aussage über eine verbleibende Varusstellung im unteren Sprunggelenk zu. Diese ist durch eine Rotation des Kalkaneus bedingt.

Zur Messung des bimalleolären Winkels wurde eine Linie durch die horizontale Achse des oberen Sprunggelenks zwischen dem Malleolus medialis und lateralis gelegt. Die andere Achse verlief durch den zweiten Zehenstrahl und durch den Mittelpunkt der Achse des oberen Sprunggelenks (Abb.5).

Der talo-Os metatarsale I Winkel wurde durch die Längsachse des Talus und durch die Längsachse des Os Metatarsale I begrenzt, wie auch der kalkaneo-Os metatarsale V Winkel durch die Längsachse des Kalkaneus und die Achse des Os metatarsale V festgelegt wurde.



Abb.5a): Röntgenbild mit eingezeichneten Achsen für den bimalleolären Winkel (BIM) 5b): Röntgenbild mit eingezeichneten Achsen für den talokalkanearen (TK), talo- Os metatarsale I (TM1) und kalkaneo- Os metatarsale V- Winkel (KM5)

Lateraler Strahlengang:

Mit Hilfe des ermittelten lateralen talokalkanearen Winkels konnten Aussagen über die persistierende Spitzfußstellung gemacht werden. Bei der Bestimmung des lateralen talokalkanearen Winkels erfolgte die Festlegung der Längsachse des Talus gemäß der Methode bei den anteroposterioren Bildern. Die Längsachse des Kalkaneus dagegen wurde durch eine Linie parallel zu seiner Unterkante bestimmt (Abb.6). Zusätzlich wurden der tibiotalare und der tibiokalkaneare Winkel ausgemessen, wodurch die Veränderungen im Rückfuß genauer beschrieben werden konnten und auch die Stellung des Unterschenkels berücksichtigt wurde^[20,77].

Anhand des lateralen und medialen talokalkanearen Winkels wurde der talokalkaneare Index ausgerechnet^[8, 26, 75]. Dies ist die Summe beider Winkel und gibt Auskunft über die Rückfußstellungskorrektur^[50].

Bei der bei vielen Klumpfüßen charakteristischen Luxation des Os naviculare^[4, 16, 47, 49, 53, 61, 73, 74] konnte zwischen einer dorsalen und einer medialen Luxation unterschieden werden. Der Grad der Luxation wurde prozentual ausgedrückt (Abb.7).



Abb.6: Laterales Röntgenbild mit eingezeichneten Achsen für die lateralen Winkelmessungen

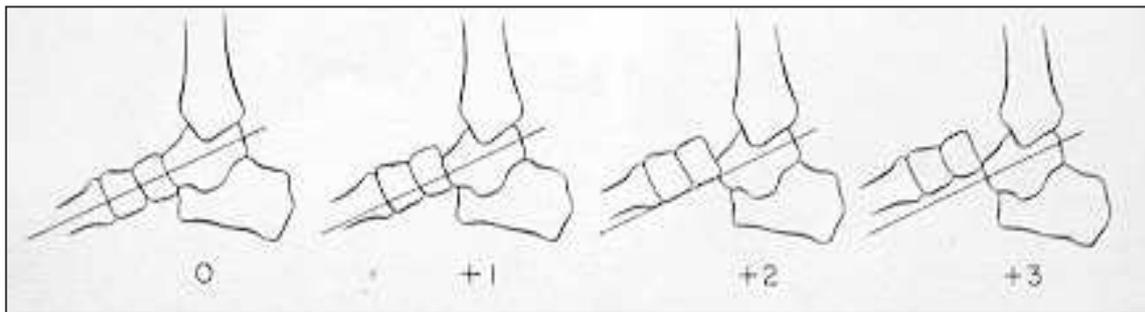


Abb.7: Einteilung der Dorsalluxation des Os Naviculare nach Simons^[79]: Grad 1: Luxation bis zu einem Drittel der Höhe des Naviculare, Grad 2: Zwischen einem und zwei Drittel, Grad 3: Luxation größer als zwei Drittel

2.3.4. Scores

Die Beurteilung der Untersuchungsergebnisse erfolgte bei der klinischen, radiologischen und subjektiven Befragung mit Hilfe von verschiedenen Scores. Die Auswertung der Ergebnisse durch zwei verschiedene Bewertungssysteme ermöglicht einerseits eine Gegenüberstellung dieser beiden Systeme, andererseits können die Ergebnisse mit mehreren anderen Studien verglichen werden. Es wurden die Beurteilungsscores von McKay^[57] und Macnicol et al.^[50] angewendet (s. Anhang).

Die Ergebnisse lassen sich in verschiedene Kategorien einteilen, die eine Bewertung der Füße erleichtern:

	Macnicol	McKay
Sehr gut	115-130 Punkte	175-180 Punkte
Gut	100-114 Punkte	160-174 Punkte
Befriedigend	85-99 Punkte	125-159 Punkte
Schlecht	<85 Punkte	90-124 Punkte
Versager		<90 Punkte

Tab.1: Kategorien der Scores

2.3.5. Pedobarometrische Untersuchung

Jeder Patient wurde zusätzlich zur klinischen und radiologischen Untersuchung auch pedobarometrisch nachuntersucht. Die Pedobarometrie ist eine Methode zur

Analyse der Belastungszonen des Fußes beim Gehen. Diese Methode wird bevorzugt eingesetzt, wenn ein Fuß nicht nur in seiner Statik, sondern auch in seiner Dynamik erfasst werden soll. Dieses ist mit herkömmlichen Verfahren, d.h. klinischen, radiologischen oder Fußdruckmessungen im Stand, nicht möglich. Die dynamische Fußdruckmessung ermöglicht dem Untersucher, die Verteilung der Bodenreaktionskraft auf der Fußsohle, die beim normalen Gang entsteht, direkt zu messen.

Die Pedobarometrie wurde mit Hilfe einer Druckverteilungsmessplattform (EMED ST4, Novel-GmbH, München) mit kapazitiven Aufnehmern durchgeführt, die in den Boden eingelassen war. Diese Plattform ermöglichte eine hohe Ortsauflösung (4 Sensoren/cm²) bei der Messung der Vertikalkomponente der Bodenreaktionskraft mit einer Frequenz von 50 Hz. Die Messung der Belastungszonen der Füße erfolgte im freien Gang. Die Patienten waren bei den Messungen barfuß, um eine Beurteilung der Fußfunktion ohne Einfluss von Schuhen zu ermöglichen. Um Beschleunigungs- und Verzögerungseffekte zu minimieren, führte man zunächst einige Probedurchgänge durch, bei denen die individuelle Startposition, Anlauflänge und Gehgeschwindigkeit ermittelt wurden. Anschließend gingen die Patienten im normalen Gehtempo auf die Plattform zu und traten nach 5-9 Schritten mit einem Fuß auf die Platte, wobei sie dazu aufgefordert wurden, die Plattform beim Gehen nicht mit dem Blick zu fixieren.



Abb.8: Patient bei der Fußdruckmessung

Bei der Fußdruckmessung der Patienten wurde der *Dynamic Test* des emed-Systems angewendet. Dabei wird die Sensorfläche der Plattform kontinuierlich mit

einer Frequenz von 50 Hz abgetastet. Die Messungen beginnen mit dem ersten Kontakt des Fußes auf der Plattform und enden nach drei Sekunden. Durch diese Methode war es möglich, den Fuß im Gehen, d.h. in seiner Funktionsweise zu untersuchen.

Es wurden für jeden Fuß mehrere Messungen gemacht, so dass man von jedem Patienten möglichst fünf verwertbare Messungen beider Füße erhielt. Die Bearbeitung und Auswertung der Messergebnisse erfolgte mit Hilfe der novel- Programme novel-navigator, novel-win und novel-ortho (Version 07.9) und mit Hilfe des Excel-Programms von Microsoft.

2.3.5.1. Einteilung des Fußes durch die *prc*-Maske in zehn Regionen

Durch das Programm novel- navigator konnte jeder Fußabdruck automatisch mit Hilfe der *prc*-Maske in zehn verschiedene Regionen eingeteilt werden (Abb.9), so dass anschließend die verschiedensten Parameter für die unterschiedlichen Zonen berechnet werden konnten.

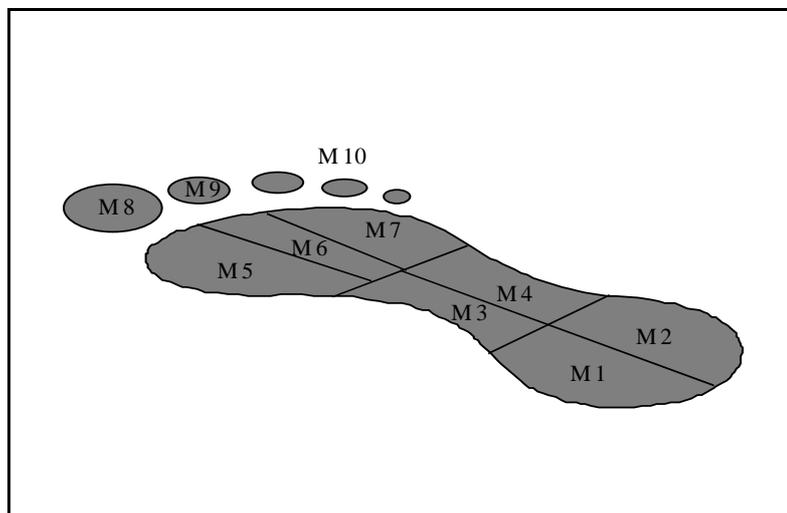


Abb.9: Fußdruckbild mit novel- navigator *prc*- Maske

Die gewählte Maskenanordnung unterteilte den Fuß in die Regionen medialer und lateraler Rückfuß (M1-2), medialer und lateraler Mittelfuß (M3-4), medialer, zentraler und lateraler Vorfuß (M5-7), Großzehe, zweite Zehe und laterale Zehen (M8-10). Die Grenzen zwischen den verschiedenen Bereichen lagen zwischen Rückfuß und Mittelfuß bei 73% und zwischen Mittelfuß und Vorfuß bei 45% der Fußlänge von Zehen zu Ferse.

Die lateralen und medialen Bereiche wurden durch die durch den Fersenmittelpunkt und zweiten Zehenstrahl laufende Fußachse getrennt. Der Vorfuß wurde durch zwei Geraden in Bereiche getrennt, die von der medialen zur lateralen Seite 30%, 25% und 45% des langen Plantarwinkels ausmachen. Die Masken passten sich somit individuell an jeden Fußabdruck an, so dass eine Einteilung von Hand überflüssig wurde.

Die Messungen eines Patienten wurden als eine Gruppe durch den *group editor* abgespeichert. Anschließend erfolgte die Berechnung und statistische Analyse verschiedener Parameter mit Hilfe der *group evaluation*. Folgende Parameter und Informationen wurden berechnet und abgespeichert:

- Maximalkraft innerhalb der Masken (in Newton)
- Maximaldruck innerhalb der Masken (in Newton/cm²)
- Kontaktzeit innerhalb der Masken in Relation zur Gesamt- Abrollzeit (in Prozent)
- Kontaktfläche innerhalb der Masken (in cm²)
- Impuls über die definierten Masken, entspricht dem Kraft-Zeit-Integral (in Newtonsekunden)

2.3.5.2. Einteilung des Fußes durch die LM-Maske in zwei Regionen

Weitere Parameter konnten mit dem Programm novel-ortho berechnet werden. Mit Hilfe dieses Programms wurde der Fuß durch eine Achse, die durch den Fersenmittelpunkt und den zweiten Zeh gelegt wurde, in einen medialen und einen lateralen Bereich eingeteilt (Abb.10). Dadurch war es möglich, Parameter und Indices zu berechnen, die nur das Verhältnis zwischen medialem und lateralem Fuß berücksichtigen.

Mit Hilfe der *lateral-medial force differentials* konnten Werte berechnet werden, die eine Aussage über die entstandenen Bodenreaktionskräfte innerhalb der beiden Bereiche erlauben. Hierzu wurden die Kraft-Zeit-Integrale über die definierten Bereiche berechnet.

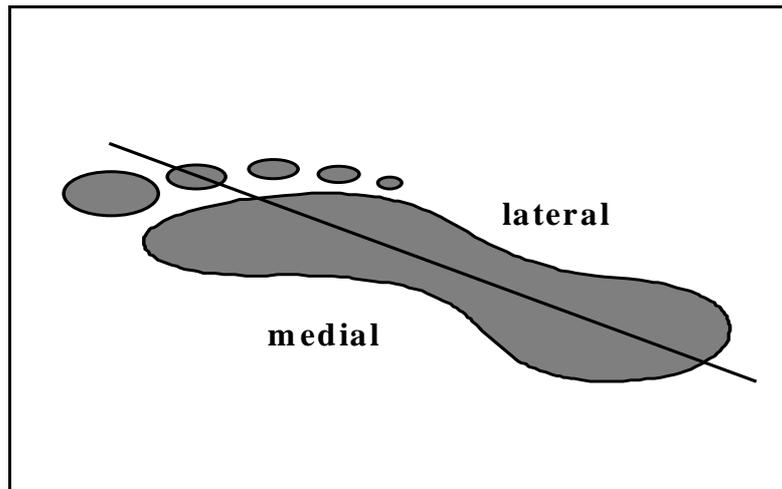


Abb.10: Fußdruckbild mit novel-ortho- Maske

Lateraler Impuls: Kraft-Zeit-Integral über den lateralen Bereich des Fußes

Medialer Impuls: Kraft-Zeit-Integral über den medialen Bereich des Fußes

Alle berechneten Daten wurden in das Excel- Programm von Microsoft transformiert. Dort bildete man die Mittelwerte und Standardabweichungen der Einzelmessungen jedes Fußes von jedem Patienten. Anhand dieser Daten konnten die Werte der Klumpfüße mit den Werten der normalen Füße verglichen werden.

2.3.6. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Stat View- Programms (Version 5.0, Abacus Concepts, Inc.) durchgeführt. Für die Analyse der klinischen Daten wurden Korrelationsmatrices erstellt, in denen die Auswertung mit Hilfe der Scores, die Ergebnisse der klinischen Untersuchung, die radiologischen Werte und die Ergebnisse der subjektiven Zufriedenheit gegeneinander aufgetragen wurden. Da bei diesen Korrelationen 38 Patienten berücksichtigt wurden, sind in Tab.2 die Korrelationskoeffizienten und p-Werte entsprechend dieser Patientenzahl dargestellt. Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests für unverbundene Stichproben auf Signifikanzen untersucht.

r-Wert	p-Wert
>0,3202	<0,05
>0,4128	<0,01
>0,5126	<0,001

Tab.2: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen

Die Auswertung der pedobarometrischen Daten erfolgte mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben. Dadurch konnte der Unterschied zwischen kontralateralen und betroffenen Füßen für die verschiedenen Parameter und Bereiche des Fußes auf Signifikanzen (Signifikanzniveau: $p < 0.05$) untersucht werden. Um die Ergebnisse mit den klinischen Scores besser korrelieren zu können, wurden Quotienten der Werte des betroffenen und des kontralateralen Fußes gebildet. Dadurch konnte der intraindividuelle Unterschied berücksichtigt werden.

3. Ergebnisse

Die Daten von 41 nachuntersuchten Patienten konnten für diese Studie zugrundegelegt werden. Die Therapieverläufe dieser Patienten werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Verlauf/ Besonderheiten	Anzahl Patienten
Therapie in Münster begonnen	30
auswärts begonnen	11
Initiale Gipsanlage planmässig	41
verzögert	0
keine	0
initial (zusätzlich) Orthesen	5
Krankengymnastik	7
Nachtschienen regelmässig	40
unregelmässig	1
OrthoS. Hilfsmittel: orthop. Schuhe	11
Einlagen	28
Krankengymnastik	30

Tab.3: Häufigkeit der angewandten TherapieMaßnahmen

Operationszeitpunkte	Anzahl der Patienten	
	in Münster	auswärts
<3 Monate	1	0
3-6 Monate	20	9
7-11 Monate	5	0
> 11 Monate	4	2

Tab.4: Operationszeitpunkte der ersten Operation

Bei den in der Universitätsklinik Münster operierten Kindern wurde individuell entschieden, ob ein dorsales oder ein dorsomediales Release angewandt werden sollte

(dorsales Release bei 15 Patienten, dorsomediales Release bei 15 Patienten), während die primär auswärts operierten Kinder mit Ausnahme eines Kindes alle mit einem dorsalen Release behandelt wurden. Bei 13 (32%) Patienten wurde ein Sekundäreingriff durchgeführt, wobei fünf Patienten initial mit einem dorsalen Release und acht Patienten mit einem initialen dorsomedialen Release behandelt worden waren. Einem weiteren Rezidiveingriff mussten sich drei (7%) Patienten unterziehen.

	Anzahl der Patienten bei der		
	ersten Operation	zweiten Operation	dritten Operation
Weichteiloperationen			
dorsales Release	25	5	1
dorsomediales Release	16	8	2
...mit Flexor hallucis longus Verlängerung	4	3	1
...mit Flexor digitorum longus Verlängerung	0	3	1
...mit Tibialis posterior Verlängerung	6	4	2
...mit Tibialis posterior Transposition	0	5	0
...mit Tibialis anterior Transposition	1	1	1
...mit K-Draht- Fixierung	12	3	1
...mit Plantarem Release	1	3	1
Knöcherne Operationen			
Beinverlängerung	0	1	0

Tab.5: Operationsarten

3.1. Klinische Untersuchung

Der Mittelwert des Body-Maß-Index wurde mit $18,2 \pm 3,5$ (Minimum 13, Maximum 29) berechnet. Die durchschnittliche Größe der Patienten war $1,30 \pm 0,18$ m (Minimum 0,95, Maximum 1,70) und das Gewicht lag bei $32,5 \pm 14,1$ kg (Minimum 14, Maximum 72).

Bei der klinischen Untersuchung zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen dem betroffenen und dem kontralateralen Fuß. Die Bewegungsumfänge des oberen und unteren Sprunggelenks beim betroffenen Fuß waren signifikant eingeschränkt. In den folgenden Diagrammen ist die Anzahl der Patienten aufgetragen, die den verschiedenen Kategorien zugeteilt wurde.

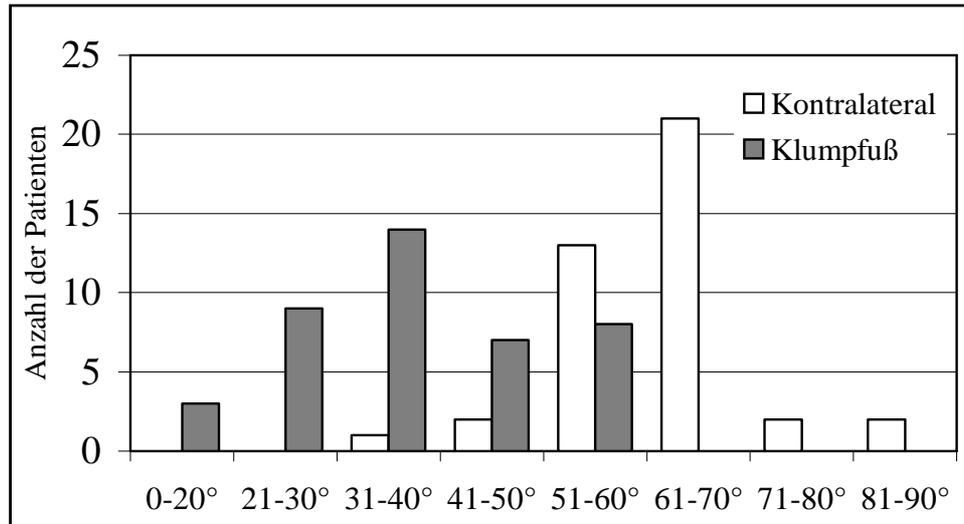


Abb.11: Verteilung der Bewegungsumfänge des oberen Sprunggelenks

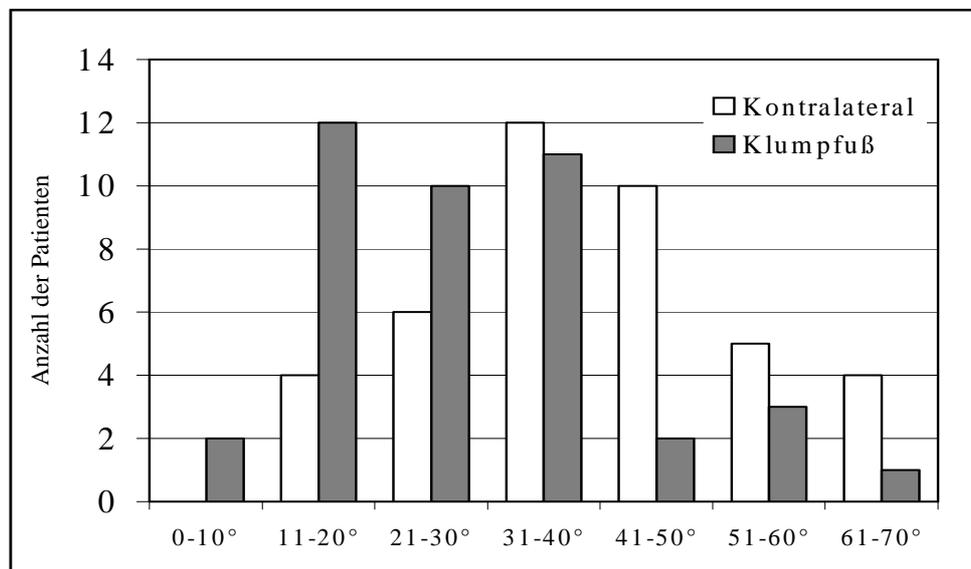


Abb.12: Absolute Bewegungsumfänge des unteren Sprunggelenks

Der Mittelwert des passiven Bewegungsumfanges im oberen Sprunggelenk der betroffenen Seite betrug $39,7 \pm 11,9^\circ$, beim kontralateralen Fuß $65,4 \pm 9,6^\circ$. Die

Dorsalextension war bei den betroffenen Füßen bis zu $10,4 \pm 6,7^\circ$, auf der kontralateralen Seite bis zu $25,1 \pm 7,9^\circ$ möglich. Der Mittelwert für das Bewegungsausmaß im unteren Sprunggelenk beim betroffenen Fuß lag bei $30,7 \pm 15,1^\circ$, beim kontralateralen Fuß $42,9 \pm 13,9^\circ$. Es wurden signifikant reduzierte Bewegungsumfänge ($p < 0,0001$) bei den betroffenen Füßen in beiden Sprunggelenken (Abb.11 und 12) gefunden.

Die Fersenstellung der Klumpfüße differierte von derjenigen der kontralateralen Füße (Abb.13). Während die kontralateralen Füße eine Neutralstellung bzw. eine altersentsprechende physiologisch leichte Valgusstellung hatten, wurde unter den Klumpfüßen bei sechs Patienten (14,6%) eine varische Fersenstellung beobachtet.

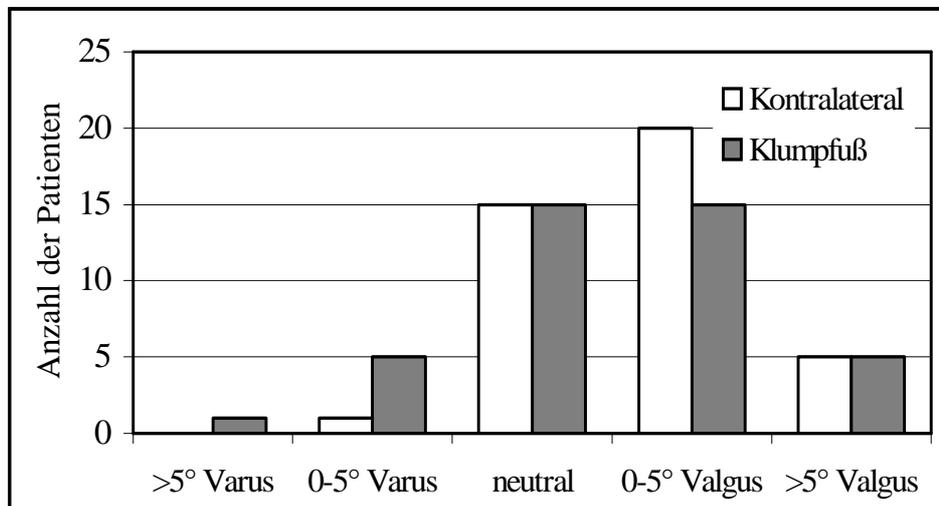


Abb.13: Fersenstellung

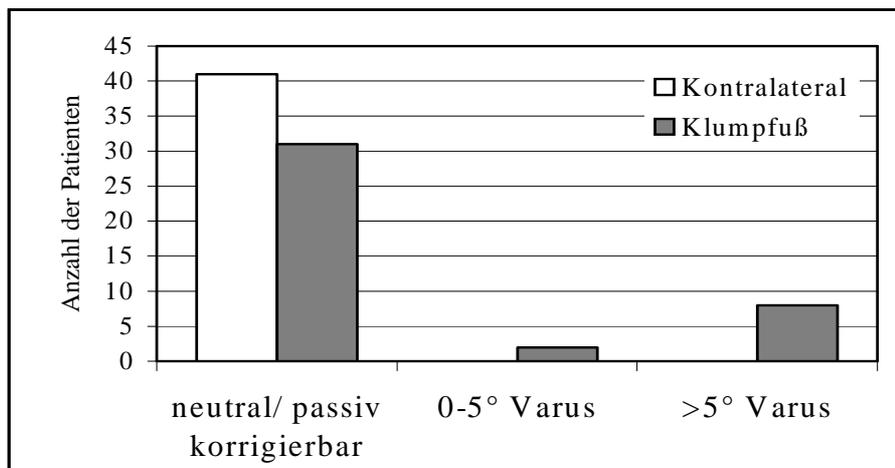


Abb.14: Vorfußstellung

Auch zeigte sich bei den betroffenen Füßen in mehreren Fällen (zehn Patienten; 24%) eine vermehrte Vorfußadduktion, was durch eine Varusstellung des Vorfußes ausgedrückt wurde (Abb. 14). Diese Varusstellung ließ sich auch passiv nicht vollständig korrigieren.

Bei der Überprüfung der Trizepskraft durch den Zehenstand bzw. der Anzahl der durchgeführten toe-ups fiel eine signifikant verminderte Kraftausdauer der Wadenmuskulatur auf. Ein einbeiniger Zehenstand auf der betroffenen Seite war bei 33 Patienten möglich, sieben Patienten konnten den Zehenstand nur zweibeinig ausführen und bei einem Patienten war kein Zehenstand möglich. Die Anzahl der ausführbaren toe-ups (maximal 20) zeigte signifikante Unterschiede ($p=0,0002$) zwischen normalem und betroffenem Fuß. Auf der gesunden Seite waren durchschnittlich $18\pm 6,6$ toe-ups möglich. Bei vier Patienten war dieser Test aufgrund fehlender Compliance nicht durchzuführen, weshalb auch für die gesunde Seite bei jungen Patienten nicht die Höchstzahl von 20 toe-ups vermerkt werden konnte. Auf der betroffenen Seite konnten durchschnittlich 13 ± 8 toe-ups ausgeführt werden. Bei 18 Patienten bestand keine Differenz bei der Anzahl der ausführbaren toe-ups, bei 15 Patienten zeigte sich eine Differenz, die zwischen einem und 19 toe-ups lag, bei vier Patienten war nur auf der betroffenen Seite kein toe-up möglich und vier Patienten zeigten keine Compliance bei diesem Test. Unter Berücksichtigung der Anzahl der Operationen ließen sich eindeutige Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Die durchschnittliche Differenz beim toe-up-Test bei Patienten, die nur einmal operiert wurden, betrug $3,2\pm 5,3$, nach zweimaliger Operation lag die Differenz bei 9 ± 6 toe-ups und zwei von den drei Patienten, die dreimal operiert wurden, konnten mit dem betroffenen Fuß keinen Zehenstand durchführen (Differenz 13 ± 12 toe-ups).

toe-up- Test	Anzahl der Patienten mit		
	einer OP	zwei OPs	drei OPs
keine Differenz	14	3	1
Differenz 1-19 toe-ups	8	7	0
kein toe-up möglich	1	1	2
keine Compliance	4	0	0

Tab.6: Auswertung des toe-up Tests

Der Muskulus flexor hallucis longus wies bei 40 Patienten keine Funktionseinschränkung auf, bei einem Patienten war er durch einen operativen Eingriff funktionsuntüchtig geworden. Bei 35 Patienten konnten die Narbenverhältnisse als zart und wenig aufragend, bei sechs Patienten als weit und empfindlich bezeichnet werden. Ein Fersengang war bei 40 Patienten möglich, bei einem Patienten war er nicht möglich.

3.2. Subjektive Zufriedenheit

Bei 28 Patienten (69%) wurden keine Funktionseinschränkungen gefunden. Zwölf (29%) Patienten berichteten davon, dass kaum Einschränkungen beständen, während bei einem (2%) Patienten weitestgehende Einschränkungen in der Funktion des Fußes vorhanden waren. Kein Patient berichtete von vollständigen Funktionseinschränkungen.

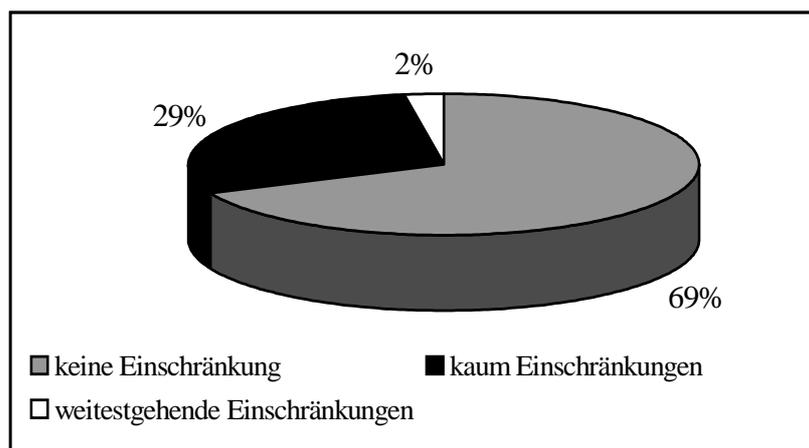


Abb.15: Funktionseinschränkungen des betroffenen Fußes

Von den untersuchten Patienten nahmen 36 (88%) an allen Freizeitaktivitäten teil und fünf (12%) Patienten mussten geringe Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten in Kauf nehmen. Bei keinem Patienten bestanden große Einschränkungen bei der Freizeitgestaltung. Die Zufriedenheit mit der Operation und der Therapie schätzten 34 Patienten (83%) als hoch ein, sieben Patienten (17%) waren teilweise zufrieden und keiner der befragten Patienten war unzufrieden. 28 Patienten (69%) bezeichneten sich als beschwerdefrei. Zehn Patienten (24%) gaben einen gelegentlich auftretenden Belastungsschmerz an und darüber hinaus bemerkten zwei Patienten (5%) einen gelegentlichen Schmerz ohne Belastung. Ein Patient (2%) machte die Aussage, häufig

Schmerzen auch ohne Belastung zu haben. Kein Patient litt unter ständigem Belastungsschmerz oder häufigem Schmerz ohne Belastung.

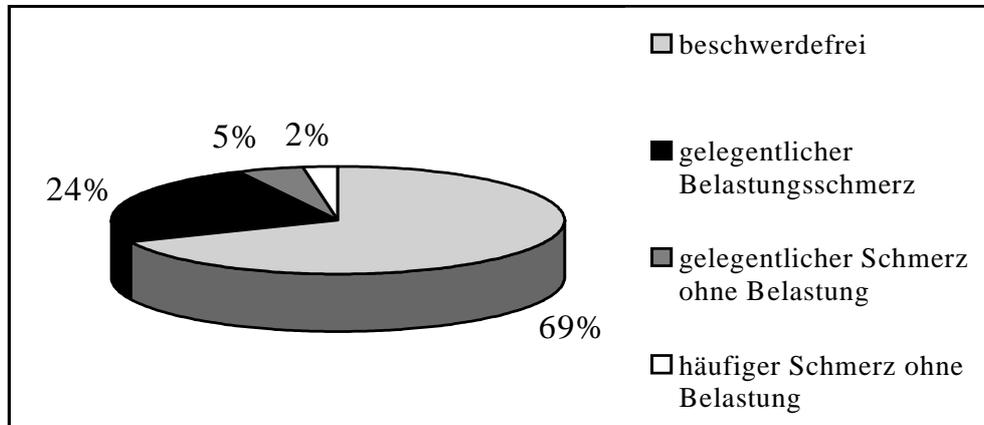


Abb.16: Schmerzanamnese

Bei der Frage nach Schwierigkeiten bei der Schuhversorgung oder vermehrter Schuhabnutzung gaben 37 Patienten (90%) keine Auffälligkeiten an. Drei Patienten (8%) erwähnten einen höheren Seitenabrieb und die Schuhe eines Patienten (2%) zeigten einen insgesamt vermehrten Abrieb.

3.3. Radiologische Untersuchung

Bei der radiologischen Untersuchung konnten 38 Patienten berücksichtigt werden. Drei Patienten, die klinisch und pedobarometrisch untersucht wurden, zeigten keine Compliance bei der radiologischen Untersuchung, so dass keine Röntgenbilder angefertigt werden konnten. Die radiologischen Ergebnisse beziehen sich deshalb auf ein Kollektiv von 38 Patienten.

Durch die Röntgenbildanalyse konnten Unterschiede zwischen den gemessenen Winkeln der betroffenen Füße und Normwerten in der Literatur ^[8, 76] festgestellt werden. Da nur von den betroffenen Füßen der Patienten Röntgenaufnahmen gemacht wurden, können die Werte nicht intraindividuell analysiert werden; hier fand ein Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Normwerten statt. Zusätzlich wurde die Stellung des Os naviculare analysiert.

Bis auf einen Wert lagen alle Werte außerhalb des Normbereichs für normale Füße [8, 76]. Der auf den antero-posterioren Bildern gemessene Wert für den talokalkanearen Winkel betrug $18,5 \pm 9,0^\circ$ (Minimum 0, Maximum 40). Dieser Wert ist gegenüber dem Normwert von $20-40^\circ$ reduziert; dies lässt sich durch eine Varusstellung im unteren Sprunggelenk erklären, was auch durch einen reduzierten lateralen talokalkanearen Winkel belegt wird. Der Mittelwert hierfür betrug $31,6 \pm 6,6^\circ$ (Minimum 16, Maximum 48). Eine Kombination dieser beiden Winkel ist der talokalkaneare Index. Dieser Index hatte einen Mittelwert von $50,2 \pm 13,8^\circ$ (Minimum 17, Maximum 81) und lag als einziger Wert im Normbereich für normale Füße.

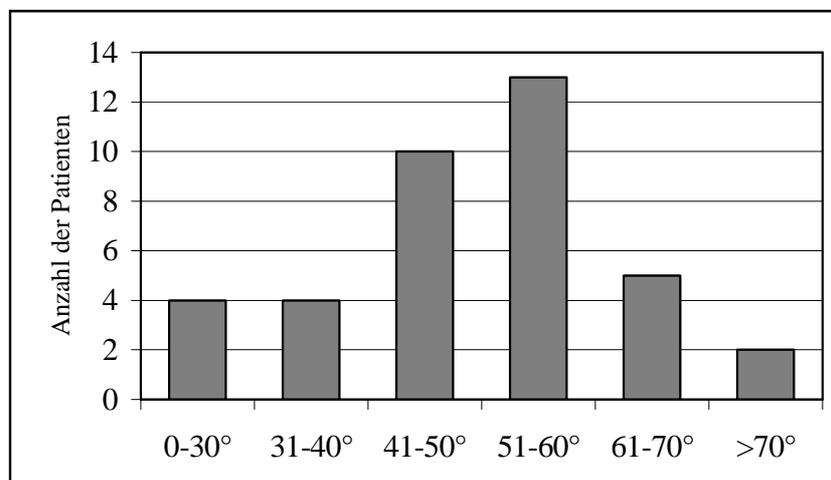


Abb.17: Talokalkaneare Index

Winkelmessung		Mittelwert	Normwert	# der Füße im Normbereich
Anteroposterior	talokalkaneare	$18,5 \pm 9,0$	$20-40^\circ$	16
	bimalleolär	$73,4 \pm 13,4$	$75-90^\circ$	21
	talo-Metatarsal I	$6,1 \pm 13,5$	$0-(-20)^\circ$	17
	kalkaneo-Metatarsal V	$-2,7 \pm 10,6$	$0-10^\circ$	19
Lateral	talokalkaneare	$31,6 \pm 6,6$	$35-50^\circ$	12
	tibiotalar	$104,6 \pm 7,1$	$70-100^\circ$	11
	tibiokalkaneare	$73,4 \pm 9,5$	$25-60^\circ$	4
Talokalkaneare-Index		$50,2 \pm 13,8$	$40-85^\circ$	30

Tab.7: Werte der Röntgenwinkel, Normwerte nach Simons [76] und Beatson et al. [8]

Der bimalleoläre Winkel gibt Auskunft über eine verbleibende mediale Abweichung des Fußes, wobei keine Aussage darüber gemacht werden kann, ob diese Adduktion durch eine Veränderung im Vor- oder Rückfuß oder durch eine Verschiebung der Achse des oberen Sprunggelenks zustande kommt. Der durchschnittliche bimalleoläre Winkel von $73,4^\circ$ (Minimum 45 , Maximum 90) lag knapp unterhalb der Untergrenze des Normbereichs. Der ermittelte Winkel zwischen dem Os metatarsale I und dem Talus betrug $6,1^\circ$ (Minimum -18 , Maximum 42). Der Mittelwert des Winkels zwischen dem Kalkaneus und dem Os metatarsale V betrug $-2,7$ (Minimum -21 , Maximum 20). Dieser Winkel spiegelt eine leichte Vorfußadduktion wieder.

Für die auf dem Röntgenbild im lateralen Strahlengang ermittelten tibiotalaren und tibiokalkanearen Winkel existieren in der Literatur nur Normwerte, die sich auf Röntgenbilder in maximaler Dorsalextension beziehen. Der Mittelwert für den tibiotalaren Winkel wurde mit $104,6^\circ$ (Minimum 90 , Maximum 118) und für den tibiokalkanearen Winkel mit $73,4^\circ$ (Minimum 54 , Maximum 90) berechnet. Durch diese erhöhten Winkelgrade wird die Spitzfußstellung der betroffenen Füße verdeutlicht.

Bei der Beurteilung einer dorsalen oder medialen Luxation des Os naviculare konnten 32 Patienten berücksichtigt werden, da bei sechs Patienten dieser Knochen noch nicht oder nicht vollständig verknöchert war.

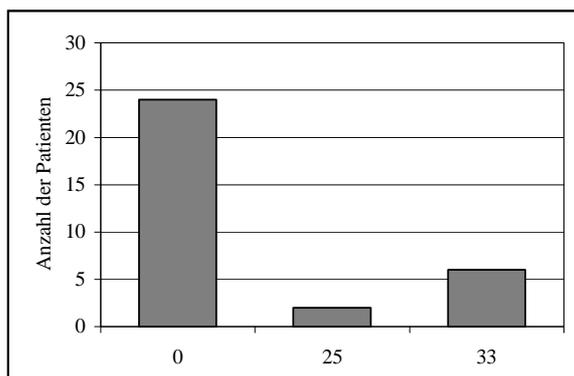


Abb.19: Grad der dorsalen Luxation des Os naviculare (in Prozent)

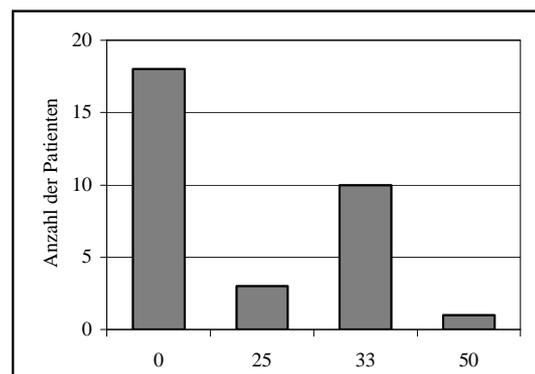


Abb.20: Grad der medialen Luxation des Os naviculare (in Prozent)

Eine dorsale Luxation des Os naviculare bestand bei acht Patienten (25%). Bei zwei Patienten war das Os naviculare um 25% seiner Gesamthöhe nach dorsal verschoben und bei sechs Patienten bestand eine Dorsalverschiebung von 33% der

Gesamthöhe. Bei keinem der Patienten wurde eine größere Dorsalluxation als 33% bemerkt. Bei 14 Patienten (44%) war eine mediale Luxation des Os naviculare vorhanden. Der Knochen war bei drei Patienten um 25% und bei zehn Patienten um 33% nach medial verschoben. Bei einem Patienten bestand eine mediale Luxation von 50%.



Abb.18: Laterales Röntgenbild eines 11-jährigen Patienten (CF67) mit ausgeprägter Dorsalluxation des Os naviculare (33%)

3.4. Scores

Die Berechnung der Scores erfolgte bei 38 Patienten, da von drei Patienten keine Röntgenbilder vorlagen und deshalb nicht alle Kriterien der Scores beurteilt werden konnten. Der durchschnittliche Score nach Macnicol betrug 102 Punkte ($\pm 17,3$, Minimum 55, Maximum 120) und nach McKay 140 Punkte ($\pm 28,3$, Minimum 75, Maximum 180).

Kategorie	Score nach Macnicol	Score nach McKay
Sehr gut	13 (34%)	5 (13%)
Gut	12 (32%)	5 (13%)
Befriedigend	7 (18%)	18 (47%)
Schlecht	6 (16%)	9 (24%)
Versager		1 (3%)

Tab.8: Anzahl der Patienten in den verschiedenen Kategorie

3.5. Korrelationsanalysen

Nicht jeder einzelne in dieser Studie untersuchte Parameter scheint für ein gutes bzw. schlechtes Gesamtergebnis ausschlaggebend zu sein. Deshalb wurden die Scoreergebnisse mit den klinischen, radiologischen und subjektiv angegebenen Werten korreliert. Bei 38 Patienten entspricht dabei ein Korrelationskoeffizient von $r > 0,3202$ einem p-Wert von $< 0,05$. Hervorgehoben werden in der Tabelle 9 die auf einem Niveau von $p < 0,05$ signifikanten Werte.

Für die Parameter Alter, Gewicht, Größe und Body-Maß-Index der Patienten konnten keine signifikanten Korrelationen mit einem der beiden Scores gefunden werden.

Die durch den Fragebogen und die Aktenanalyse evaluierten Daten weisen verschiedene Signifikanzniveaus bei der Korrelation mit den Ergebnissen der Scores auf. Mit Hilfe einer Kodierung der verschiedenen Schmerzkategorien (beschwerdefrei=0,..., häufiger Schmerz=3) konnten die Daten mit den Scores korreliert werden. Dabei konnte ein signifikanter Zusammenhang ($p < 0,05$) zwischen einem beschwerdefreien Zustand und einem guten Ergebnis des Scores gefunden werden.

Auch korrelierte eine geringe Anzahl von Operationen mit einem hohen Scoreergebnis ($r = -0,384/-0,441$). Hierbei konnte für den Score nach Macnicol ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ und für den Score nach McKay von $p < 0,01$ festgestellt werden. Ein relativ später Zeitpunkt der ersten Operation war für ein signifikant ($p < 0,05$) besseres Ergebnis beim Score von McKay verantwortlich. Eine weitere signifikante Korrelation der Aktenanalyse konnte zwischen dem Operationsort und dem Ergebnis gesehen werden. Die initial in der Universitätsklinik Münster operierten Patienten zeigten bei der Korrelation mit dem McKay-Score Ergebnis signifikant (McKay: $p = 0,018$) bessere Ergebnisse als die auswärts operierten Patienten. Bei allen anderen Parametern, die die konservative Nachsorge, die Operationsart oder den Operationszeitpunkt der Operation in Münster betrafen, konnten keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden.

Parameter	Score Macnicol	Score McKay
Anthropometrische Daten		
Alter	0,048	0,157
Gewicht	-0,045	0,014
Grösse	0,024	0,036
Body-Mass-Index	-0,178	-0,089
Fragebogen und Aktenanalyse		
Follow-up	0,161	0,223
Schmerz	-0,329	-0,327
Operationsanzahl	-0,384	-0,441
Operationszeitpunkt 1.OP	0,172	0,341
1.OP in Münster durchgeführt/nicht durchgeführt	n.s.	signifikant
Klinische Untersuchung		
Fersenstellung (Differenz norm-CF)	-0,29	-0,301
Vorfußstellung (Differenz norm-CF)	-0,659	-0,56
Bewegungsumfang im oberen Sprunggelenk (Differenz norm-CF)	-0,336	-0,601
Dorsalextension (Differenz norm-CF)	-0,353	-0,218
Plantarflexion (Differenz norm-CF)	-0,172	-0,564
Dorsalextension CF	0,68	0,433
Bewegungsumfang im unteren Sprunggelenk (Differenz norm-CF)	-0,157	-0,245
Pronation (Differenz norm-CF)	-0,204	-0,224
Supination (Differenz norm-CF)	0,001	-0,167
toe-ups (Differenz norm-CF)	-0,417	-0,666
Radiologische Untersuchung		
lateraler talokalkaneärer Winkel	0,624	0,5
lateraler tibiokalkaneärer Winkel	-0,458	-0,329
lateraler tibiotalarer Winkel	-0,045	0,043
antero-posteriorer talokalkaneärer Winkel	0,345	0,176
antero-posteriorer bimalleolärer Winkel	0,484	0,624
antero-posteriorer talo-Metatarsal I Winkel	-0,508	-0,464
antero-posteriorer kalkaneo-Metatarsal V Winkel	0,247	0,457
Dorsalluxation des Os naviculare	-0,133	-0,118
Lateralluxation des Os naviculare	-0,182	-0,139

Tab.9: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen der Analyse der klinisch-radiologischen Parameter und der beiden Scores

Alle klinischen Parameter, die die Vorfußstellung, die Bewegung im oberen Sprunggelenk oder die Zahl der durchführbaren toe-ups beinhalteten, zeigten signifikante Korrelationen mit dem Ergebnis. Dagegen wiesen die drei klinischen Parameter, die den Bewegungsumfang des unteren Sprunggelenks und die Fersenstellung beschrieben, keine signifikanten Korrelationen auf. Besonders bei der Untersuchung der Vorfußadduktion (neutral:0, 0-5° Varus:-1, >5° Varus:-2) konnten bei beiden Scores hochsignifikante Korrelationen ($p < 0,001$) gesehen werden. Je größer die verbliebene Adduktuskomponente der Klumpfüße war, desto schlechter war das Ergebnis des Fußes. Die Untersuchung des Bewegungsumfangs des oberen Sprunggelenks schloss die Korrelation der Differenz des absoluten Gesamtwertes, der isolierten Dorsalextension und der isolierten Plantarflexion ein. Auch wurde die Dorsalextension speziell bei den Klumpfüßen und nicht nur im Verhältnis zu den kontralateralen Füßen untersucht. Bei jedem der Parameter konnten signifikante Korrelationen festgestellt werden; am deutlichsten waren diese jedoch beim absoluten Bewegungsausmaß und bei der isolierten Dorsalextension der Klumpfüße zu sehen. Je größer der Bewegungsumfang im oberen Sprunggelenk bei den Klumpfüßen war, desto besser war das Ergebnis des Fußes. Eine weitere zu erwähnende signifikante Korrelation wurde zwischen der Differenz der durchführbaren toe-ups und den Scores gefunden. Hochsignifikante Korrelationen ($p < 0,01$) konnten zwischen einer hohen Zahl an durchführbaren toe-ups und einem guten Ergebnis bei der Auswertung durch die Scores gesehen werden.

Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Werten der tibiotalaren Winkel oder den Luxationen des Os Naviculare und den Scoreanalysen gefunden werden. Dagegen wiesen alle anderen radiologischen Daten signifikante Korrelationen auf. Hochsignifikante Korrelationen ($p < 0,01$) mit beiden Scores konnten beim Wert des lateralen talokalkanearen Winkels und beim antero-posterioren bimalleolären und talo-Metatarsal I Winkel gefunden werden. Je größer der laterale talokalkaneare und der bimalleoläre Winkel und je kleiner der talo-Metatarsal I Winkel waren, desto besser wurde der Fuß mit Hilfe der Scores eingestuft. Auch korrelierte ein geringer Wert des lateralen tibiokalkanearen Winkels mit einem guten Ergebnis bei der Analyse durch die Scores. Eine signifikante Korrelation mit jeweils nur einem Score

konnte beim Wert des antero-posterioren talokalkanearen und kalkaneo-Metatarsal V Winkels gesehen werden.

3.6. Pedobarometrische Untersuchung

Für die Auswertung der pedobarometrischen Untersuchung wurden die Messungen von 41 Patienten zugrundegelegt, die seit 1986 in der Uniklinik Münster operativ an einem Klumpfuß behandelt wurden. Für die weiterführenden Korrelationen mit Ergebnissen der klinischen Untersuchung und mit klinischen Scores konnten jedoch nur die Ergebnisse von 38 Patienten berücksichtigt werden, da nur bei diesen Patienten eine vollständige klinische, radiologische und pedobarometrische Untersuchung durchgeführt werden konnte.

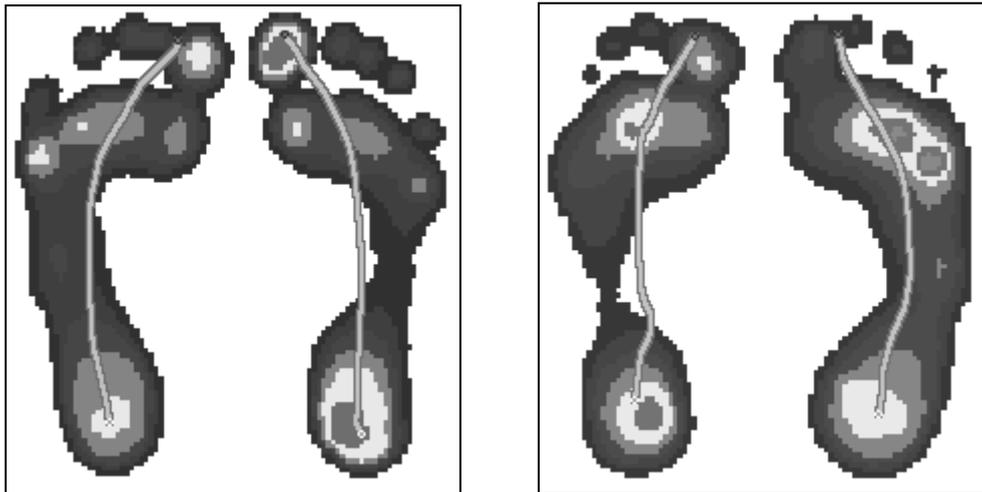


Abb.21: Pedobarometrie Mittelwertbilder von zwei Klumpfußpatienten
a) Klumpfuß links b) Klumpfuß rechts

3.6.1. Variabilität der pedobarometrischen Untersuchung

Um die intraindividuelle Variabilität der Messungen beurteilen zu können, wurde von den fünf Einzelmessungen eines Patienten die Standardabweichung und der Variationskoeffizient gebildet. Bei der Analyse wurde deutlich, dass die Werte des Variationskoeffizienten (Standardabweichung/Mittelwert*100%) abhängig von dem entsprechenden Maskenbereich und von dem jeweiligen Parameter waren. Die Maskenbereiche M3 (medialer Mittelfuß), M5 (medialer Vorfuß) und M9 und M10 (laterale Zehen) waren den größten Schwankungen unterworfen (Variationskoeffizient

Druck 20,5%-33,7%). In den anderen Bereichen konnte für den Parameter Druck ein Variationskoeffizient von 15,5% bis 25,9% ermittelt werden.

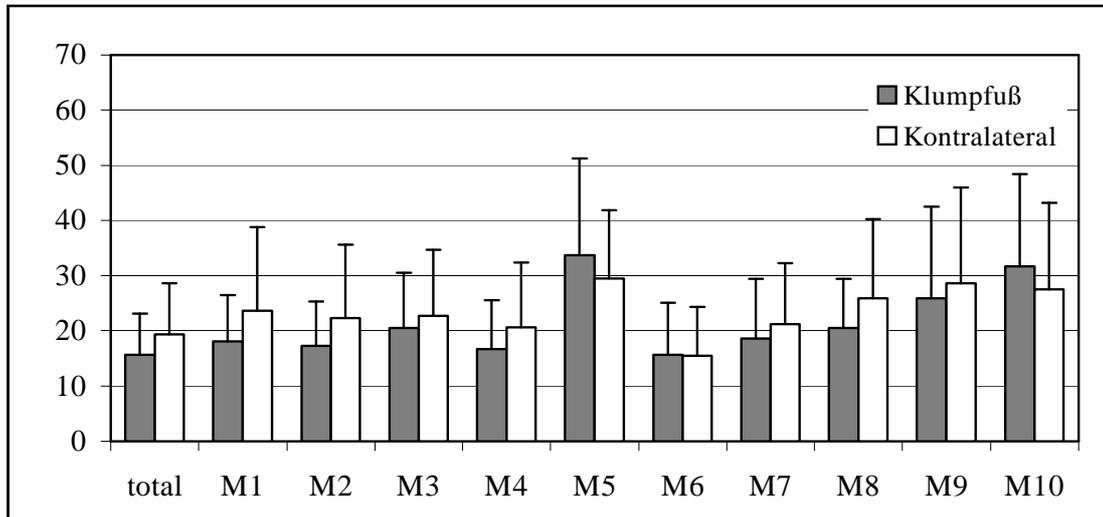


Abb.22: Variationskoeffizienten der maximalen Drücke für die zehn Bereiche (in Prozent)

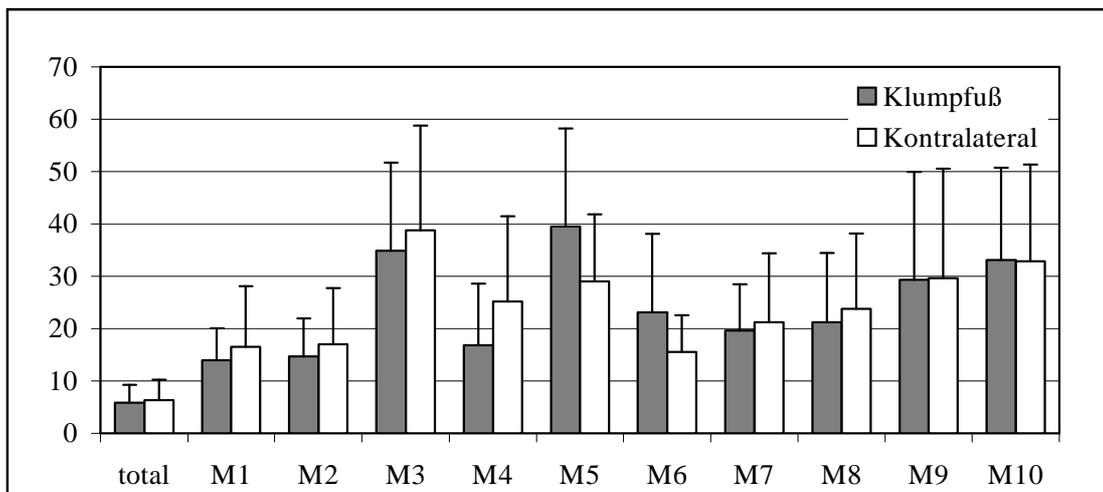


Abb.23: Variationskoeffizienten der Kräfte für die zehn Bereiche (in Prozent)

Zusätzlich konnten Unterschiede der Variationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Parametern gemessen werden. Parameter wie die Kraftverteilung, der maximale Druck und das Kraft-Zeit-Integral waren großen Schwankungen unterworfen (durchschnittlicher Variationskoeffizient über alle Masken 22,8%-32%). Dagegen konnte bei der Kontaktzeit und der Kontaktfläche ein geringerer Koeffizient ermittelt werden (13,4%-13,8%).

Bei der Berechnung der Variationskoeffizienten der Indices für die mediolateralen Parameter wurden Variationskoeffizienten zwischen 13,7% und 18,5% festgestellt.

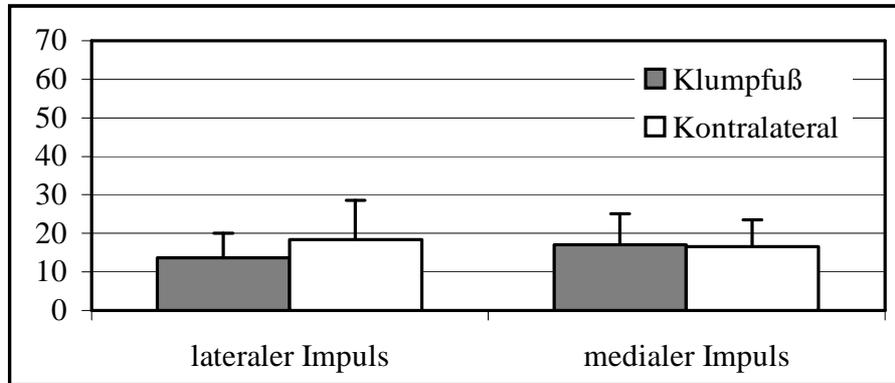


Abb.24: Variationskoeffizienten für die medial-lateralen Parameter (in Prozent)

3.6.2. Auswertung der Gesamtfläche

Bei der Analyse von vier Parametern für den gesamten Fuß waren für drei Parameter signifikante Unterschiede zwischen betroffenen und kontralateralen Füßen erkennbar. Die Kraftentwicklung, der Gesamtdruck und der Gesamtimpuls waren bei den Klumpfüßen signifikant ($p < 0,01$) erniedrigt. Dagegen konnte für den Parameter Gesamtfläche kein signifikanter Unterschied gefunden werden.

3.6.3. Auswertung der zehn prc-Maskenbereiche

Signifikante ($*p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Werten der Klumpfüße und denjenigen der nicht operierten Füße wurden besonders im Bereich des medialen Rückfußes und des Mittel- und Vorfußes gefunden, d.h. in den Maskenbereichen M1 und M4-M8 (Abb.25-29). In den Grafiken wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der verschiedenen Bereiche für den Klumpfuß und die kontralaterale Seite von 41 Patienten aufgetragen. Die Signifikanzen wurden mit Hilfe des Wilcoxon-Rangsummentests berechnet.

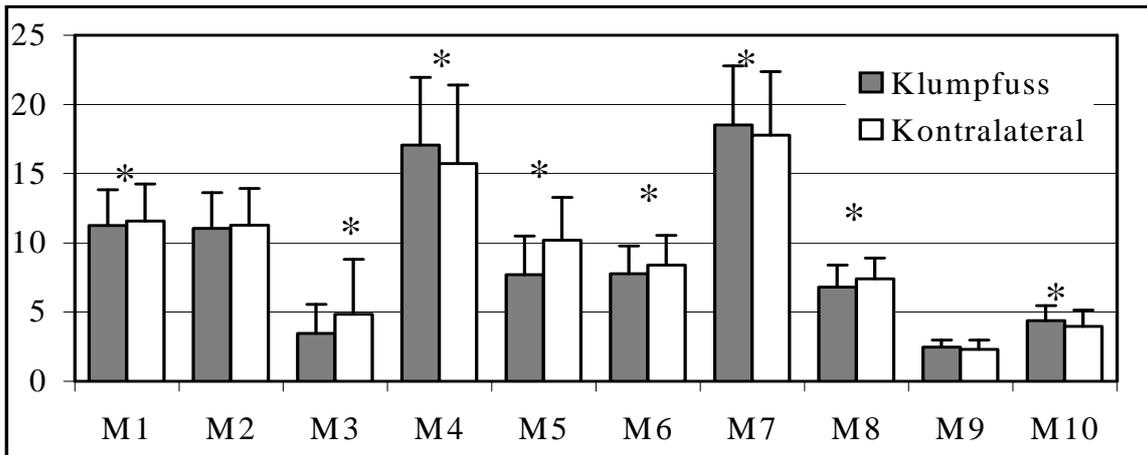


Abb.25: Auswertung der Fläche (in cm²)

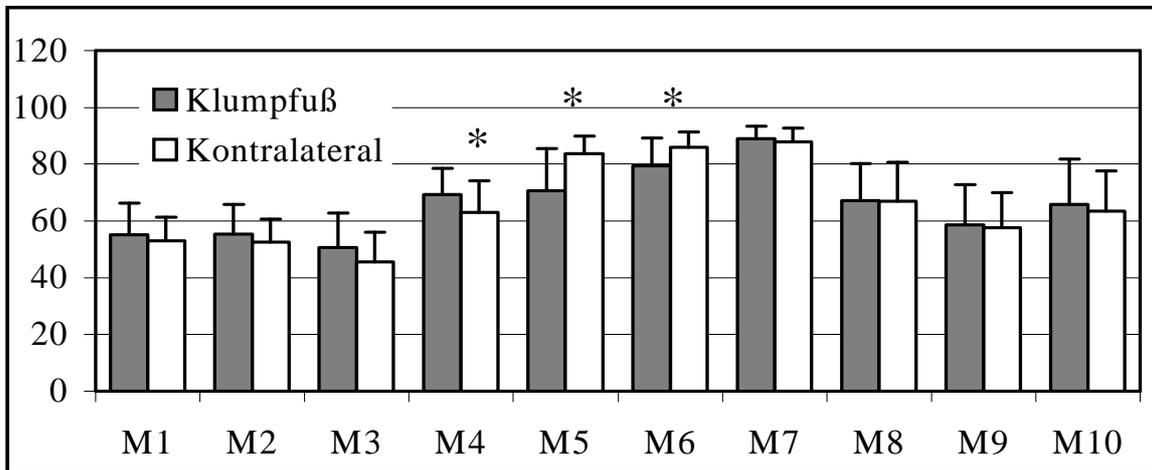


Abb.26: Auswertung der Kontaktzeit (in%)

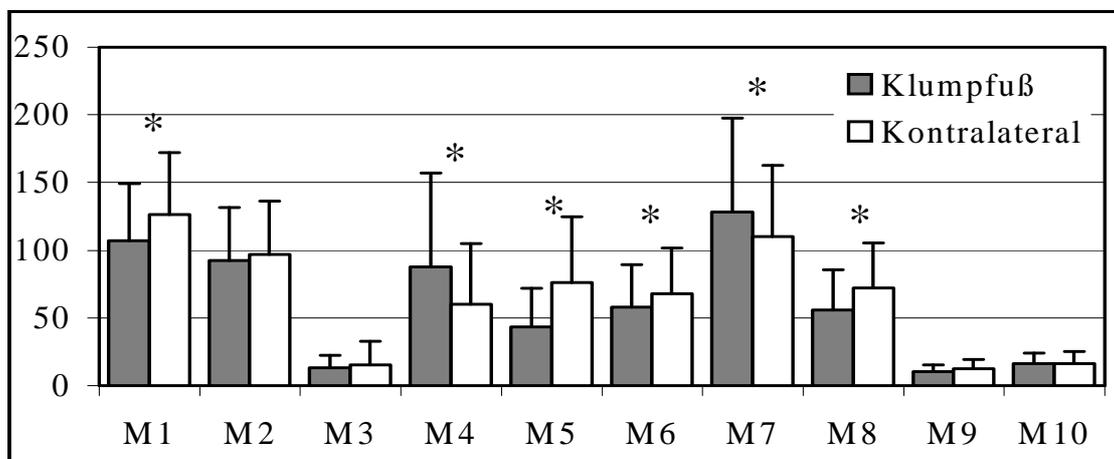


Abb.27: Auswertung der Kraft (in N)

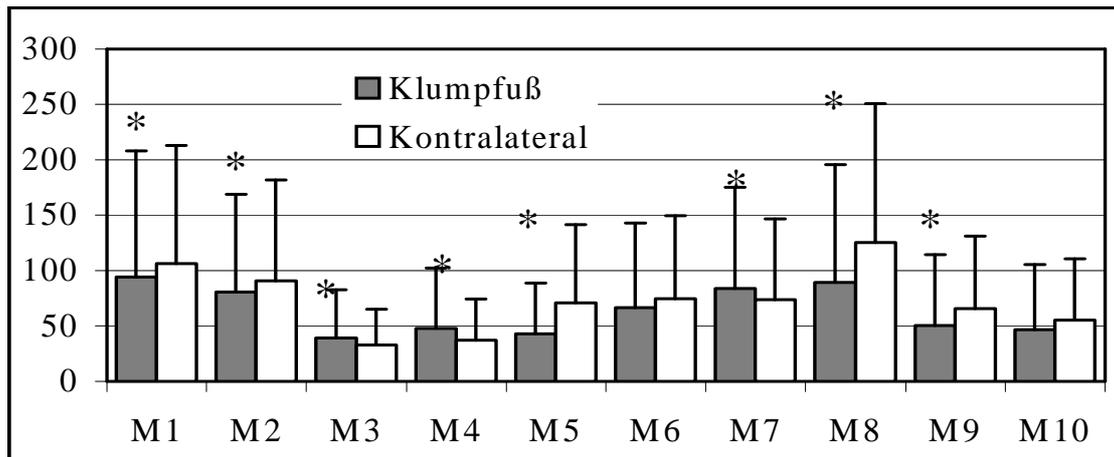


Abb.28: Auswertung des Maximaldrucks (in N/cm²)

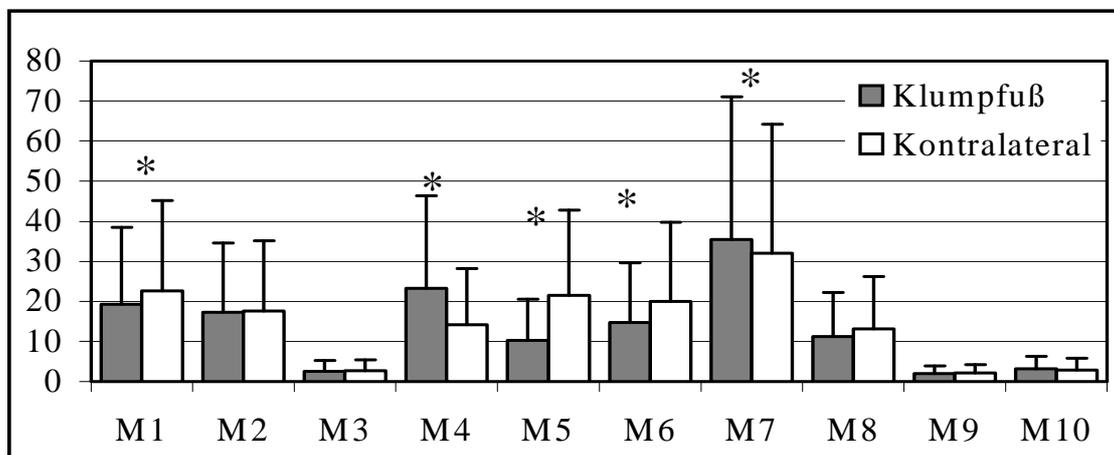


Abb.29: Auswertung des Impulses (in Ns)

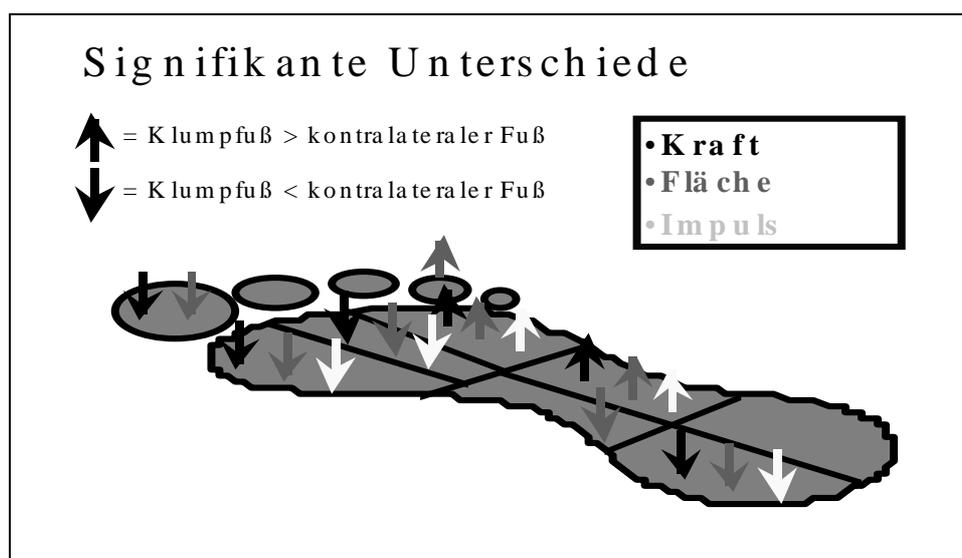


Abb.30: Signifikante Unterschiede der prc-Maskenwerte

Um diese signifikanten Unterschiede zwischen betroffenem und kontralateralem Fuß zusammenfassend darzustellen, wurde ein Übersichtsbild angefertigt, auf welchem signifikante Unterschiede der Parameter Kraft, Fläche und Impuls durch einen Pfeil in die entsprechende Richtung dargestellt wurden (Abb.30). Mit Hilfe dieses Übersichtsbildes lassen sich die Veränderungen der betroffenen Füße gut wiedergeben. Erkennbar ist eine deutlich schwächere Belastung des medialen Fußes (M1, M3, M5, M6 und M8) und eine erhöhte Belastung der lateralen Fußbereiche. Aus diesem Grund wurden bei der weiteren Analyse die lateromedialen Parameter berechnet und ausgewertet.

3.6.4. Auswertung der zwei LM-Maskenbereiche

Die Werte des lateralen und medialen Impulses zeigten signifikante Unterschiede ($p < 0,002$) zwischen Klumpfüßen und normalen Füßen. Während der Impuls der lateralen Fläche bei den betroffenen Füßen signifikant höher war, konnte für die mediale Fläche ein erniedrigter Impuls festgestellt werden.

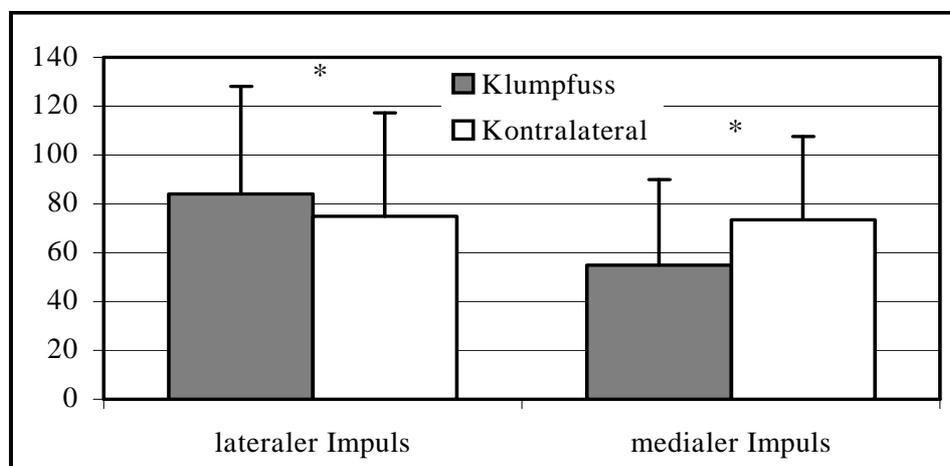


Abb.31: Auswertung des lateralen und medialen Impulses (Ns), * $p < 0,0002$

3.6.5. Korrelation der pedobarometrischen Ergebnisse mit den Ergebnissen der Scores

Das Ziel der Korrelation der verschiedenen Parameter der Fußdruckmessung mit den Ergebnissen der klinisch-radiologischen Untersuchung unter Berücksichtigung der

Scores von Macnicol und McKay ist es, die Ergebnisse der Pedobarometrie in einen klinischen Zusammenhang setzen zu können.

Ein Vergleich zwischen den berechneten absoluten Werten der verschiedenen Parameter und Flächen mit den Scoreergebnissen ist nicht möglich, da die Werte der Pedobarometrie vom individuellen Körpergewicht beeinflusst werden. Aufgrund der unterschiedlichen Körpergewichte (Minimum 14, Maximum 72 kg) und unterschiedlichen Grösse der Kontaktfläche der Fußabdrücke innerhalb des Patientenkollektivs würde es zu Verzerrungen kommen. Um dieses zu vermeiden, wurde anstatt eines absoluten Wertes ein Verhältnis zwischen den Werten der betroffenen und der kontralateralen Seite gebildet. Dabei wurden die Quotienten (betroffene Seite/kontralaterale Seite) von den folgenden pedobarometrischen Parametern (Fläche, Kraft, Druck, Impuls) berechnet.

Besonders hohe Korrelationen konnten zwischen den klinischen Scores und den Quotienten der folgenden Parameter der Pedobarometrie in den angegebenen Bereichen festgestellt werden. Hervorgehoben werden dabei die auf einem Niveau von $p < 0,05$ signifikanten Bereiche (Tab.10).

Wie schon in der Untersuchung der Signifikanzen zwischen der betroffenen und der kontralateralen Seite konnten auch hier besonders im Bereich des Mittel- und Vorfußes und der Großzehe signifikante Korrelationen festgestellt werden. Im lateralen Fersenbereich und im lateralen Zehenbereich konnten dagegen mit Ausnahme der Werte des Impulses keine signifikanten Korrelationen erfasst werden. Die negativen Werte der Korrelationskoeffizienten in den Maskenbereichen M3 und M4 sprechen dafür, dass bei einer stark erhöhten Verlagerung der Belastung in den Mittelfußbereich das Ergebnis bei der klinisch-radiologischen Untersuchung schlechter ausfällt. Je größer die Belastung in den Bereichen M5, M6 und M8, d.h. im Bereich des medialen Vorfußes und der Großzehe bei den Klumpfüßen ist, desto besser ist das Ergebnis. Dieses wird auch bei der Auswertung des Impulses mit Hilfe der LM-Maske deutlich. Eine geringe laterale und eine hohe mediale Belastung korreliert mit einem guten klinischen Ergebnis. Die analysierte Lateralisation sollte deshalb so gering wie möglich ausfallen, um ein optimales Ergebnis in der klinisch-radiologischen Untersuchung zu erhalten.

Quotienten (betroffene /kontralaterale Seite) der Parameter	Maskenbereich	Score	
		Macnicol	McKay
Kontaktfläche	M5	0,201	0,343
	M8	0,456	0,449
Kraft	M1	0,372	0,033
	M5	0,303	0,500
	M6	0,422	0,433
	M7	-0,373	-0,348
	M8	0,381	0,388
Druck	M3	-0,126	-0,361
	M4	-0,397	-0,371
	M5	0,306	0,475
	M8	0,351	0,311
Impuls (prc-Maske)	Gesamt	0,391	0,447
	M5	0,346	0,589
	M6	0,445	0,577
	M8	0,404	0,448
	M10	0,348	0,397
Impuls (LM-Maske)	lateral	-0,268	-0,354
	medial	0,411	0,510

Tab.10: Signifikante Korrelationen der Quotienten der Parameter mit den Scoreergebnissen; Bereiche, in denen keine signifikanten Zusammenhänge gefunden wurden, sind nicht dargestellt ($r > 0,32$, $p < 0,05$)

3.6.6. Der lateromediale Impuls

Die bisher berechneten Quotienten beziehen sich auf das Verhältnis zwischen betroffener und kontralateraler Seite. Aufgrund der Zusammensetzung des Patientenkollektivs dieser Studie, welches ausschließlich einseitig betroffene Patienten beinhaltet, ist ein Vergleich zwischen beiden Füßen möglich. Ziel ist es jedoch, einen Parameter zu finden, der auch ohne einen Vergleich mit der kontralateralen Seite aussagekräftig ist, da z.B. bei beidseitig betroffenen Patienten ein Vergleich zwischen den Füßen nicht möglich ist. Ein derartiger Parameter muss demnach

- sich aus den Werten innerhalb eines Fußabdrucks zusammensetzen
- die Ausprägung der Lateralisation charakterisieren
- signifikante Zusammenhänge mit den klinisch-radiologischen Ergebnissen aufweisen.

Eine Einteilung des Fußes durch die LM-Maske in einen lateralen und einen medialen Bereich erscheint dafür besser geeignet als die Aufteilung in zehn kleine Bereiche durch die prc-Maske. Eine Charakterisierung der Lateralisation kann durch das Verhältnis zwischen dem lateralen zum medialen Impuls innerhalb eines Fußabdrucks erfolgen. Dazu wurde der Quotient zwischen dem lateralen und dem medialen Impuls gebildet. Ein hoher Wert spiegelt eine starke Lateralisation, ein niedriger Wert eine gering oder gar nicht ausgeprägte Lateralisation wieder. Die Berechnung der Werte des Quotienten für die betroffenen und kontralateralen Füße gibt die Abbildung 32 wieder.

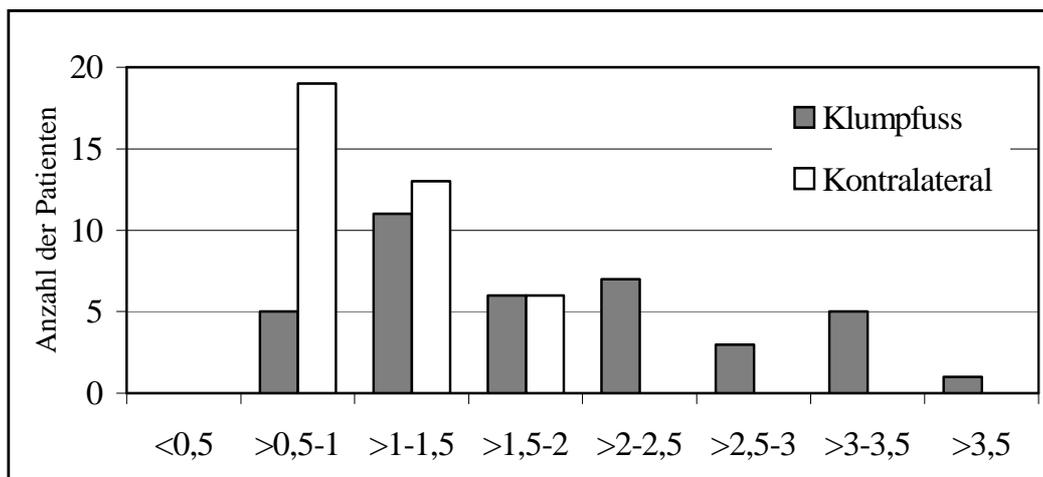


Abb.32: Absolute Werte des lateromedialen Impulses

Dabei ergeben sich ein Mittelwert von $1,86 \pm 0,81$ (Spannweite 0,55-3,5) für betroffene und ein Mittelwert von $1,06 \pm 0,32$ (Spannweite 0,55-1,79) für kontralaterale Füße. Dies bedeutet einen signifikanten Unterschied ($p < 0,0001$) zwischen betroffenen und kontralateralen Füßen. Die folgende Abbildung verdeutlicht die signifikant erhöhten Werte der Klumpfüße im intraindividuellen Vergleich.

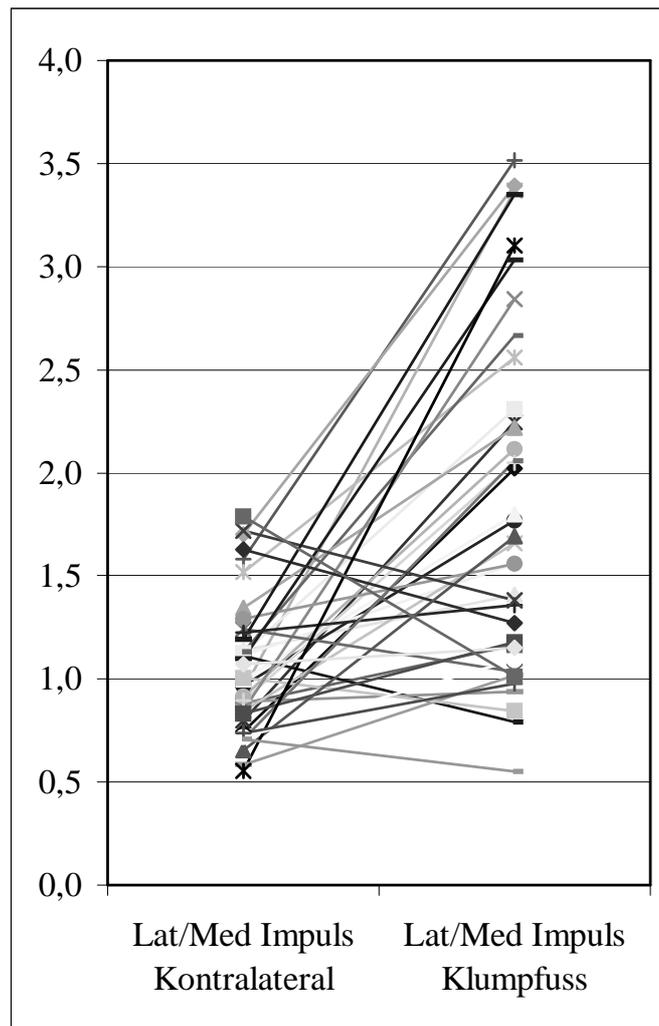


Abb.33: Vergleich der Werte der betroffenen und kontralateralen Füße für 38 Patienten

Um einen Zusammenhang mit den klinischen Ergebnissen herzustellen, wurden die Werte des lateromedialen Impulses mit den Scores korreliert.

	Score Macnicol	Score McKay
Lat/Med Impuls der Klumpfüße	-0,462	-0,432
Lat/Med Impuls der kontralateralen Seite	0,024	0,139

Tab.11: Korrelationskoeffizienten des lateromedialen Impulses mit den Scores

Dabei konnten signifikante Korrelationen ($p < 0,01$) zwischen beiden Scores und dem Quotienten des lateromedialen Impulses der Klumpfüße festgestellt werden. Ein niedriger Quotient des lateromedialen Impulses, d.h. eine gering ausgeprägte

Lateralisation, entspricht dabei einem guten klinischen Ergebnis. Führt man diese Korrelationen mit den Werten des lateromedialen Impulses der kontralateralen Seite durch, werden keine signifikanten Korrelationen deutlich.

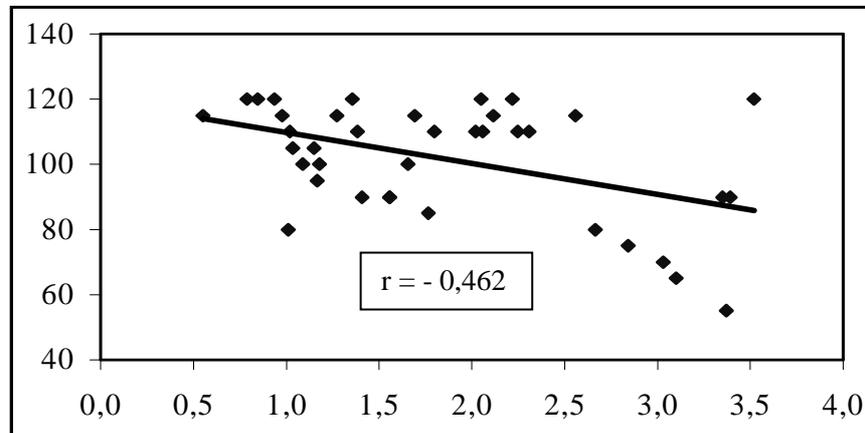


Abb.34: Korrelation des Lat/Med Impulses für Klumpfüße mit dem Punktergebnis des Scores von Macnicol

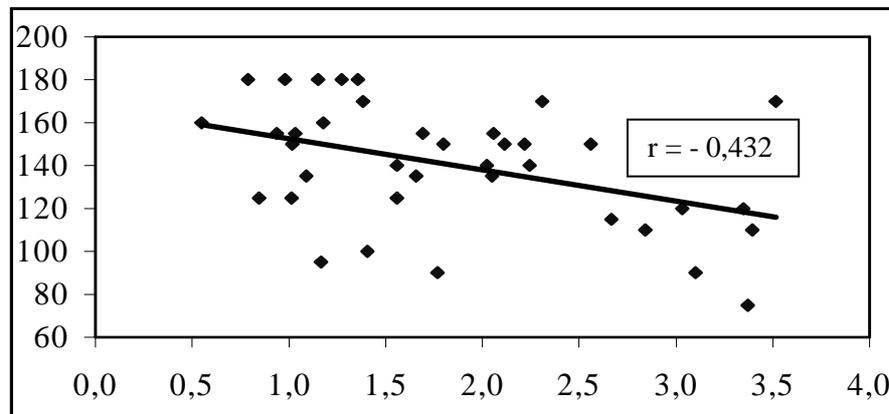


Abb.35: Korrelation des Lat/Med Impulses für Klumpfüße mit dem Punktergebnis des Scores von McKay

Weiterführende Korrelationen des lateromedialen Impulses mit den einzelnen Komponenten der klinisch-radiologischen Untersuchung ergaben folgende Korrelationen (Tab.12). Ein hoher Wert des lateromedialen Impulses korrelierte dabei signifikant mit einer hohen Differenz der Fersenstellung. Da die Stellung des Rückfußes durch bestimmte Zahlen ($>5^\circ$ Varus:-2; $0-5^\circ$ Varus:-1;...; $>5^\circ$ Valgus:+2) kodiert wurde, geht eine hohe Differenz der Fersenstellung mit einer im Vergleich zur kontralateralen Seite varischen Fersenstellung des Klumpfußes einher. Eine varische Rückfußstellung

macht sich demnach bei der Pedobarometrie durch eine verstärkte Lateralisation bemerkbar.

Klinisch-radiologischer Parameter	Korrelationskoeffizient
Fersenstellung (Differenz norm-CF)	0,391
Vorfußstellung (Differenz norm-CF)	0,647
Dorsalextension CF	-0,503
antero-posteriorer bimalleolärer Winkel	-0,548
antero-posteriorer talo-Metatarsal I Winkel	0,456
antero-posteriorer kalkaneo-Metatarsal V Winkel	-0,496

Tab.12: Korrelationen des lateromedialen Impulses mit den klinisch-radiologischen Parametern; nicht signifikante Zusammenhänge sind nicht dargestellt

Auch bei der Analyse der Vorfußstellung zeigten sich ähnliche Ergebnisse. Eine vermehrte Adduktuskomponente korrelierte signifikant mit einem hohen Wert des lateromedialen Impulses. Je weniger der betroffene Fuß dorsalextendiert werden konnte, desto ausgeprägter war die Lateralisation bei der Pedobarometrie.

Bei der Korrelation der radiologischen Parameter konnten lediglich signifikante Zusammenhänge mit den Werten der Bilder im antero-posterioren Strahlengang gefunden werden. Dabei bestätigten die Untersuchungen der Daten der bimalleolären, talo-Metatarsal I und kalkaneo-Metatarsal V Winkel, die eine verbleibende Adduktion radiologisch quantifizieren, die bei der klinischen Untersuchung der Vorfußstellung genannten Ergebnisse. Eine vergrößerte Adduktion wird bei der pedobarometrischen Untersuchung durch eine vermehrte Lateralisation verdeutlicht.

3.7. Fallbeispiele

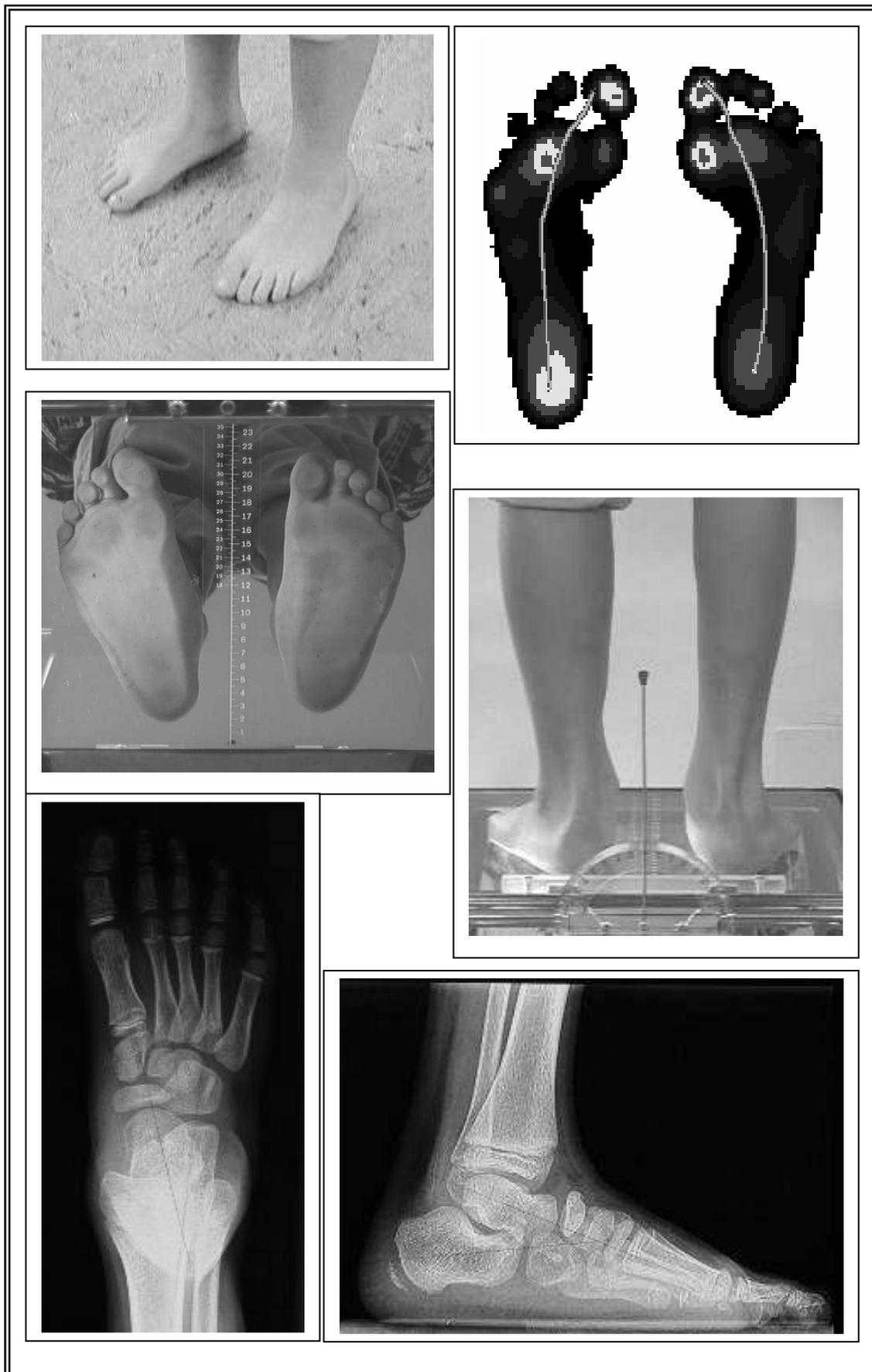
Im Folgenden werden die Untersuchungsergebnisse anhand von zwei Fallbeispielen aufgezeigt.

Fallbeispiel 1 (CF68, rechts):

- 8-jähriger Junge, Grösse 130cm, Gewicht 30kg
- einmaliges dorsomediales Release im Alter von 7 Monaten in Münster
- Klinik: OSG (Ex/Flex) 15-0-40, Fersenstellung: 5° Valgus, Vorfuß: Neutralstellung, toe-up Test: keine Differenz
- Radiologisch: lateraler talokalkaneärer Winkel: 29°, anteroposteriorer talokalkaneärer Winkel: 19°, bimalleolärer Winkel: 84°
- Scores: Macnicol 115 Punkte, McKay 180 Punkte, Kategorie sehr gut
- Pedobarometrisch: Lateralitätsindex: 1,272

Insgesamt zeigt dieser Patient einen subjektiv beschwerdefreien Fuß mit keinerlei Einschränkungen bei Freizeitbeschäftigungen. Durch das dorsomediale Release wurde der Fuß in eine sehr gute Korrekturstellung gebracht mit einer leicht valgischen Fersenstellung und einer passiv vollständig korrigierbaren Vorfußstellung. Die Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk ist nicht eingeschränkt und lediglich durch eine radiologisch erkennbare Verringerung des anteroposterioren talokalkaneären Winkels kam es zu Abzügen bei der Auswertung durch den Score von Macnicol. Das Ergebnis wird durch beide Scores in die Kategorie „sehr gut“ eingeordnet.

Auf dem Fußdruckmessungsbild zeigt sich ein weitestgehend symmetrisches Belastungsmuster mit der Hauptbelastung unter der Ferse und deutlichem Abstoß über den Vorfuß und die Großzehe. Der betroffene rechte Fuß weist eine leicht verringerte Fersenbelastung wie auch eine leichte Druckerhöhung im seitlichen Mittelfuß auf. Insgesamt ist das funktionelle Ergebnis durch den Lateralitätsindex von 1,272 charakterisiert, welcher in die Kategorie „sehr gut“ eingeteilt wird. Dies bedeutet, dass der Patient die medialen und lateralen Fußbereiche gleich stark belastet und nicht, wie es bei betroffenen Füßen häufig gesehen wird, eine verstärkte Außenbelastung deutlich wird.

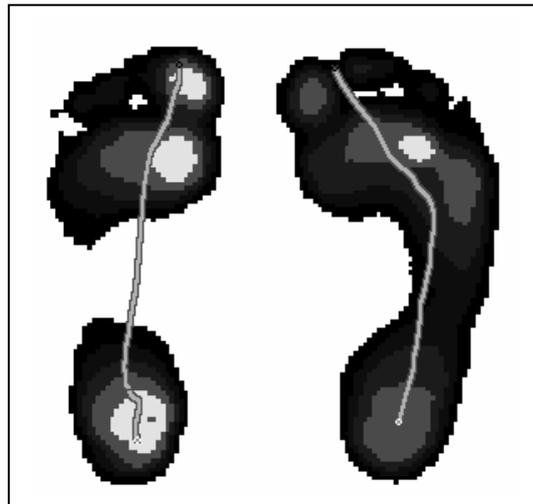


Fallbeispiel 2 (CF76, rechts):

- 6-jähriger Junge, Grösse 115cm, Gewicht 23kg
- einmaliges dorsales Release im Alter von 9 Monaten in Münster
- Klinik: OSG (Ex/Flex) 0-0-40, Fersenstellung: 5° Valgus, Vorfuß: >5° Varus, toe-up Test: keine Differenz
- Radiologisch: lateraler talokalkaneärer Winkel: 20°, anteroposteriorer talokalkaneärer Winkel: 13°, bimalleolärer Winkel: 74°
- Scores: Macnicol 65 Punkte, McKay 90 Punkte, Kategorie schlecht
- Pedobarometrisch: Lateralitätsindex: 3,103

Insgesamt gibt der Patient einen gelegentlichen Belastungsschmerz seines Fußes mit geringen Einschränkungen bei Freizeitbeschäftigungen an. Durch das dorsale Release wurde der Fuß nicht ausreichend korrigiert und eine Restdeformität des gesamten Fußes ist erkennbar. Bei der klinischen Untersuchung wurde eine bohnenförmige auch passiv nicht vollständig zu korrigierende Fußstellung deutlich, sowie auch eine Einschränkung der Bewegungsumfänge beider Sprunggelenke. Alle radiologisch gemessenen Winkel lagen außerhalb des Normbereichs für normale Füße. Dieses nicht zufriedenstellende Ergebnis wurde bei der Auswertung durch die Scores in die Kategorie „schlecht“ eingeordnet.

Auf dem Fußdruckmessungsbild zeigte sich auf der linken Seite ein regelrechtes Belastungsmuster mit den Hauptbelastungszonen im Fersen-, Vorfuß- und Großzehenbereich. Der rechte Fuß hingegen wies eine insgesamt geringere Belastung auf, wobei der höchste Druck unter dem seitlichen Vorfuß gefunden wurde. Darüber hinaus war das Fußlängsgewölbe schwach ausgebildet und die Ganglinie sichelförmig zur Seite verlagert, wobei die Ganglinie jedoch regelrecht von der Fersenregion bis in den Großzehenbereich verläuft. Insgesamt ist diese Druckverteilung typisch für einen Residualklumpfuß. Das funktionelle Ergebnis weist deutlich auf eine weiterhin bestehende Fehlstellung hin. Dieses wird zusätzlich durch einen Wert von 3,1 des Lateralitätsindex belegt, welcher in die Kategorie „schlecht“ einzuordnen ist. Dies bedeutet, dass der Patient beim Abrollvorgang nicht den gesamten Fuß gleichmässig, sondern die lateralen Fußbereiche im Verhältnis zum medialen Fuß sehr stark belastet.



4. Diskussion

Die vorliegende Studie diene dazu, durch Analyse und Zusammenfassung der Werte der klinisch-radiologisch-pedobarometrischen Untersuchung nach operativer Klumpfußkorrektur Antworten auf die in der Einleitung formulierten Fragen zu finden.

- Die erzielten klinischen und radiologischen Ergebnisse der Universitätsklinik Münster können als zufriedenstellend angesehen werden. Beim nachfolgendem Vergleich mit anderen Studien bestätigt sich diese Einschätzung. Jedoch kommt es bei der Zusammenfassung mit Hilfe der Scores zu einem negativeren Gesamtbild, welches im Laufe der Diskussion erörtert werden soll.
- Die Beurteilung der Ergebnisse wird durch die Auswertung mit Hilfe zweier unterschiedlicher Scores beeinflusst. Lediglich ein Drittel der Patienten wird von beiden Scores in die gleiche Kategorie eingeteilt, bei 18% der Patienten bestehen sogar zwei Kategorien Unterschied.
- Durch die Korrelationsanalysen (Tab.9) konnten einige klinische wie auch radiologische Parameter gefunden werden, die Indikatoren für ein gutes bzw. schlechtes Ergebnis sind, d.h. signifikante Korrelationen mit den Ergebnissen der Scoreanalyse aufweisen.
- Bei der pedobarometrischen Untersuchung werden signifikante Unterschiede zwischen betroffenen und kontralateralen Füßen deutlich. Diese zunächst durch die zehn Maskenbereiche beschriebenen Veränderungen können sehr gut mit Hilfe der lateromedialen Maskeneinteilung des Fußes zusammengefasst und analysiert werden.
- Ein neues pedobarometrisches Bewertungssystem für Klumpfüße, welches die Quantifizierung der Restdeformität und die Indikationsstellung für erneute Operationen erleichtern soll, kann auf der Grundlage des lateromedialen Impulses entwickelt werden. Dieses wird im Laufe der Diskussion weiter ausgeführt.
- Korrelationsanalysen des lateromedialen Impulses sowohl mit den Scoreergebnissen als auch mit einzelnen klinisch-radiologischen Parametern ergeben signifikante Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen.

- Die pedobarometrische Analyse ermöglicht es dem Untersucher, eine objektive und differenzierte Bewertung der Restdeformität von Klumpfüßen durchzuführen. Eine sorgfältige klinisch-radiologische Beurteilung kann dadurch unterstützt, jedoch nicht ersetzt werden.

Ein Vergleich der Gesamtergebnisse dieser Studie mit denjenigen anderer Studien schließt sich an. Dabei werden stark variierende Prozentsätze guter bzw. sehr guter Ergebnisse deutlich, jedoch sollten die unterschiedlichen, z.B. oft ohne eine radiologische Beurteilung durchgeführten Bewertungsschemata nicht ausser Acht gelassen werden. Ein nur anhand von klinischen und subjektiven Parametern evaluiertes Patientenkollektiv präsentiert in den meisten Fällen ein besseres Ergebnis als zusätzlich funktionell und radiologisch bewertete Füße. Obwohl die Ergebnisse dieser Studie im Gesamtvergleich tendenziell schlechter als die einiger anderer ausfallen, wird bei der folgenden Analyse einzelner Parameter und im Vergleich mit Studien, die das gleiche Bewertungsschema benutzt haben, deutlich, dass die einzelnen Werte dieser Untersuchung im durchschnittlichen Normbereich für Klumpfüße liegen und dass mit einem dorsalen und dorsomedialen Release je nach initialer Ausprägung eine gute Korrektur des Vor- und Rückfußes erreicht werden kann. Leider konnte aufgrund teilweise fehlender und unvollständiger Datendokumentation nicht jeder Parameter mit allen in Tabelle 13 zusammengefassten Studien verglichen werden.

Zu Beginn dieser Diskussion steht eine Zusammenstellung der Gesamtergebnisse dieser und anderer Studien, im weiteren Verlauf wird auf die verschiedenen Aspekte der Bewertung eingegangen. Da diese Studie ein follow-up von 6,6 Jahren aufweist, wird sich erst im Langzeitvergleich zeigen, ob sich die Ergebnisse bestätigen.

Studie	# der Klumpfüße	Follow-up (Jahre)	Operationstechnik	Score	# sehr guter/guter Ergebnisse
Bensahel '87	142	8,5	DM Release	Klin-Rad	88%
Blakeslee '95	63	5,6	DM Release	Klin-Rad-Sub	70%
Cooper '95	71	34	s. Laaveg '80	Klin-Sub	88%
Laaveg '80	104	18,8	Konservativ, Achillessehndurchtrennung, Tib.ant.-Verlagerung	Klin-Sub	74%
Macnicol '00	234	10	DML Release	Klin-Rad-Sub	84%
McKay '83	55	3,2	DML Release	Klin-Sub	81%
Moulin '86	148	17,7	Konservativ und verschiedene Operationen	Klin-Sub, Podogramm e	Kl: 48% Subj: 90% Podo: 58%
Rumyantsev '97	146	3	Nach McKay/Simons	Klin-Sub	69%
Simons '85	26	3	DML Release	Klin	50%
	25	2,5	Komplettes subtalares Release	Klin	72%
Turco '71	149	6,6	DM Release	Klin-Rad	84%
Yamamoto '94	24	11	DM Release	n. McKay '83	79%
Eigene Ergebnisse	41	6,6	D und DM Release	Macnicol McKay	66% 26%

Tab.13: Zusammenfassung anderer Studienergebnisse (#-Anzahl, D-Dorsales, DM-Dorsomediales, DML-Dorsomediolaterales, Klin- klinisch, Rad- radiologisch, Sub- subjektiv)

4.1. Diskussion der Methodik

Subjektive Beurteilung

Die Beurteilung der subjektiven Zufriedenheit wird durch zwei methodische Aspekte erschwert.

Einerseits erfolgte die Dokumentation der subjektiven Zufriedenheit in den meisten Fällen durch die Eltern und nicht durch die Patienten. Da das Durchschnittsalter der Patienten in dieser Studie relativ gering war, konnten die Aussagen über Schmerz, Funktion und Zufriedenheit mit dem Ergebnis oft nur über die Eltern evaluiert werden. Daher kann eine falsch positive oder falsch negative Beurteilung in diesen Fällen nicht ausgeschlossen werden.

Andererseits ist die Bewertung dieser Kriterien bei Kindern kritisch zu beurteilen. Speziell bei Kindern ist die subjektive Wahrnehmung signifikant unterschiedlich ^[1]. Besonders die Bewertung der Schmerzen kann aus verschiedenen Gründen nur unzureichend erfolgen ^[22, 85]. Dieses ist möglicherweise durch die Schwierigkeit bedingt, Schmerzen zu verbalisieren und lokalisieren zu können. In vielen Fällen tritt ein Schmerz erst im Erwachsenenalter auf und ist deshalb bei Kindern kein prognostisches Kriterium. Die subjektive Wahrnehmung wird von vielen anderen Faktoren, wie z.B. der allgemeinen Lebenssituation ^[22] und dem Geschlecht ^[39], mitbeeinflusst. Trotzdem werden besonders in Langzeitstudien, in denen die speziellen Probleme der kindlichen Wahrnehmung nicht relevant sind, die subjektiven Parameter stärker gewichtet als radiologische oder klinische Parameter. Von Roye ^[72] wurde ein aussagekräftiges und valides System für die Evaluation entwickelt, welches einen Fragenkatalog zur subjektiven Einschätzung der Zufriedenheit und Funktion enthält. Jedoch zeigt auch er die Grenzen dieses Instruments bei jüngeren Kindern auf.

Klinische Untersuchung

Obwohl in einigen Studien über eine geringe Reliabilität klinischer Messungen des Bewegungsumfanges des oberen Sprunggelenks berichtet und die radiologische Messung bevorzugt wird ^[1, 7], widerlegen dies andere Reliabilitätsstudien und berichten von einer hohen Reproduzierbarkeit ^[51]. Die Methodik der Messung mit Goniometern ist weit

verbreitet und anerkannt ^[22, 50, 57]. Zudem können durch die klinische Messung die Strahlenbelastung und die Kosten reduziert werden.

Radiologische Untersuchung

Die in dieser Studie gemessenen Röntgenwinkel wurden mit Normwerten aus der Literatur verglichen. Ein Vergleich mit dem kontralateralen Fuß konnte nicht durchgeführt werden, da zur Vermeidung der zusätzlichen Strahlenbelastung nur vom betroffenen Fuß Röntgenbilder angefertigt wurden. Eine Bewertung des Ergebnisses anhand von präoperativen Bildern, wie z.B. von Simons ^[78] durchgeführt wurde, kann wegen fehlender Daten nicht geleistet werden.

Die radiologische Untersuchung stellt eine objektive Methode zur Evaluation der Restdeformität dar. Obwohl sie zur Bewertung von Operationsergebnissen von vielen Seiten aufgrund fehlender Zusammenhänge zwischen dem funktionellen und radiologischen Ergebnis kritisiert wird, werden zur Beurteilung der Morphologie der Knochen, zur Dokumentation, zur Operationsplanung und zur Verlaufskontrolle fast immer Röntgenbilder angefertigt. Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte in dieser Studie immer durch den gleichen Untersucher, so dass die ohnehin bei der radiologischen Untersuchung sehr geringe Variabilität zwischen den Messungen verschiedener Untersucher ^[70] minimiert werden konnte.

Scores

Die Bewertung der klinisch-radiologischen Ergebnisse durch einen Score hat den Vorteil, den Grad der Restdeformität objektiv und reproduzierbar zusammenfassend darzustellen. Dies dient sowohl der Verlaufskontrolle der Füße wie auch der Präsentation der Daten und dem Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien ^[28, 30]. In der vorliegenden Studie wurden zwei Scores berechnet, um diese miteinander vergleichen und hinterfragen zu können. In der Diskussion der Scoreergebnisse wird deutlich gemacht, dass die beiden Schemata nicht in allen Fällen übereinstimmen und deshalb die Auswahl eines Scores gleichzeitig das Ergebnis mitbeeinflussen kann. Es sollte daher nicht zu einer unkritischen Anwendung eines einzelnen Bewertungsschemas kommen.

Die Bewertung der Ergebnisse dieser Studie erfolgte durch die Scores von McKay und Macnicol, wobei letzterer eine Weiterentwicklung des Scores von McKay ist und auf den Bewertungsschemata von Laaveg und McKay basiert. Für die Beurteilung wurden diese beiden Scores gewählt, da sie klinische, subjektive und teilweise radiologische Parameter enthalten und deshalb die Ergebnisse aus verschiedenen Blickwinkeln kritisch betrachtet werden können. Der Score von McKay legt die Schwerpunkte auf die Bewertung der klinischen und subjektiven Parameter, wohingegen Macnicol zusätzlich radiologische Kriterien einbezieht. Besonders bei der Bewertung des Bewegungsumfangs im oberen Sprunggelenk wird bei McKay deutlich, dass ein normaler Fuß als Standard für das Erreichen der vollen Punktzahl definiert wird. Die volle Punktzahl ist lediglich bei einer Dorsalextension von mehr als 10° und einer Plantarflexion von mehr als 40° möglich. Dagegen beurteilt Macnicol nur die Dorsalextension und eine Einschränkung der Beweglichkeit unter 10° wird hierbei nur mit einem geringen Punktabzug bewertet. Ein gut operierter Fuß mit einem Bewegungsumfang von 11-0-25 könnte bei Macnicol demnach die volle Punktzahl erreichen.

Kritisch wird die Zusammenfassung der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Teilbereichen gesehen, da es in einigen Fällen zu einer unzureichenden Differenzierung der individuellen Einschränkungen kommen kann ^[1]. Durch die Analyse einzelner Parameter wird dieses jedoch ausgeglichen.

Die Berechnung der für die Scores benötigten Werte erfolgte durch die klinisch-radiologisch-subjektive Untersuchung. Der bimalleoläre Winkel wurde nicht wie von McKay vorgeschlagen klinisch mit Hilfe eines Fußabdrucks, sondern radiologisch auf einem anteroposterioren Röntgenbild bestimmt. Diese Methode ist auch zulässig ^[57].

Pedobarometrie

Die Ergebnisse der Studien stützen sich auf die Mittelwerte einer unterschiedlichen Anzahl von Einzelmessungen jedes Patienten mit Hilfe der EMED-Plattform. Während von Cooper und Widhe drei Einzelmessungen dokumentiert wurden, waren es bei unserer Studie fünf Messungen. Diese höhere Anzahl von Messungen wurde gewählt, um eine möglichst hohe Reliabilität zu erreichen. Hughes ^[37] untersuchte die Reliabilität der Druckmessungen mit der EMED-Plattform und forderte mindestens drei

Messungen, um eine sehr gute Reliabilität zu garantieren. Eine 100% Reliabilität kann nicht erwartet werden, jedoch wurde eine Anzahl von fünf Messungen gewählt, um die ggfs. höheren Schwankungen der Werte bei Kindern zu berücksichtigen. Die Variationskoeffizienten in dieser Studie sind vergleichbar mit den Werten von Widhe, dagegen liegen bei Cooper keine Angaben zur Variabilität der Untersuchung vor. Widhe gibt einen Variationskoeffizienten des maximalen Drucks über den ganzen Fuß von 17,6% und der Gesamtfläche von 3,6% an. Der Wert des maximalen Drucks ist identisch mit demjenigen dieser Studie und der Wert für die Fläche beträgt bei uns 3,3%. Durch eine Aufteilung des Fußes in zehn verschiedene Teilbereiche durch die prc-Maske werden sehr kleine Flächen erzeugt. Mit einer Verkleinerung der interessierenden Bereiche nimmt jedoch auch die Variabilität der Grundgrößen innerhalb der Bereiche stark zu, so dass ein Vergleich zwischen betroffener und kontralateraler Seite erschwert wird ^[58]. Eine Aufteilung in weniger Bereiche, wie z.B. durch die LM-Maske in zwei oder in Zehen, Vor-/Mittel- und Rückfuß wie bei Widhe scheint daher im Hinblick auf die Variabilität sinnvoller.

4.2. Diskussion der subjektiven Zufriedenheit und der Aktenanalyse

	Alter	Hohe subjektive Zufriedenheit	Keine Funktionseinschränkungen	Kein Schmerz
Blakeslee ^[16]	6,6	95%	60%	60%
Cooper ^[22]	34	73%	55%	26%
Hutchins ^[39]	16,4	81%	90%	80%
Laaveg ^[48]	18,8	90%	72%	59%
Yngve ^[91]	8,1	92%		68%
Eigene Ergebnisse	8,3	83%	69%	69%

Tab.14: Studienergebnisse der subjektiven Wahrnehmung

Ein Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien ist in Tabelle 14 dargestellt. Bei der Bewertung der Ergebnisse sollte das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs nie unberücksichtigt bleiben. So konnte bei der Studie von Blakeslee bei 95% der Patienten eine hohe Zufriedenheit festgestellt werden und nur 40% der Patienten klagten über Schmerzen. In der Langzeitstudie von Cooper dagegen sank die Anzahl der Patienten

mit voller Zufriedenheit auf 73% und 74% der Füße waren schmerzhaft. Diese Zahlen verdeutlichen das verzögerte Auftreten der Schmerzhaftigkeit und die damit verbundene verringerte Zufriedenheit der Patienten.

In dieser Studie konnten signifikante Zusammenhänge zwischen einem beschwerdefreien Zustand und einem guten Ergebnis des Scores gefunden werden. Korrelationen der subjektiven Parameter mit objektiven Messungen wurden bei dem Patientenkollektiv von Widhe (Durchschnittsalter neun Jahre) kaum oder nicht gefunden. In der Langzeitstudie von Laaveg et al. ^[48] konnten diese Korrelationen jedoch als signifikant herausgestellt werden. Diese kontroverse Diskussion der Ergebnisse verdeutlicht, dass die Relevanz der subjektiven Wahrnehmung besonders bei Kindern kritisch beurteilt werden sollte. Treten Schmerzen bereits im Kindesalter auf, sollte dieses prognostisch als ein schlechtes Zeichen bewertet werden. Werden dagegen keine Schmerzen beschrieben oder nicht auf den Fuß bezogen, kann dennoch nicht sicher ausgeschlossen werden, dass es später zu Schmerzen oder Rezidiven und damit zu einer geringeren Zufriedenheit kommen kann.

Die signifikanten Zusammenhänge zwischen einem späten Operationszeitpunkt, dem Operationsort und dem Ergebnis bei der Scoreanalyse sollten kritisch betrachtet werden. Bei Patienten der vorliegenden Studie mit verspäteten Operationszeitpunkten wurde zunächst eine intensive konservative Therapie durchgeführt, welche gute Erfolge zeigte. Dadurch bestand die Aussicht auf eine ausschließliche konservative Therapie, die sich später jedoch nicht bestätigte. Daher kann man bei diesen Patienten von einer schwächer ausgeprägten Deformität ausgehen, die nach einer operativen Korrektur signifikant bessere Ergebnisse zeigte. Der Zusammenhang zwischen dem Erstoperationsort Münster und guten Ergebnissen ist durch die Zusammensetzung des Patientenkollektivs bedingt. In auswärtigen Krankenhäusern erstoperierte Patienten wurden durch diese Studie erfasst, wenn ein Rezidiv auftrat und eine zweite oder dritte Operation in Münster durchgeführt wurde. Die in Münster erstoperierten Patienten dagegen konnten auch nachuntersucht werden, wenn die Erstoperation die einzige Operation war und kein Rezidiv auftrat.

4.3. Diskussion der klinischen Ergebnisse

Bei der Analyse der Bewegungsumfänge wurden in beiden Sprunggelenken signifikant reduzierte Werte bei den Klumpfüßen gemessen. Das im oberen Sprunggelenk reduzierte Bewegungsausmaß ist für ein signifikant schlechtes Scoreergebnis verantwortlich (s. Tab.9). Dieser auch in anderen Studien gefundene Zusammenhang unterstreicht die Notwendigkeit eines hohen Bewegungsumfanges für ein gutes postoperatives Ergebnis ^[22, 50].

Eine Einschränkung des Bewegungsumfanges im oberen Sprunggelenk bei Klumpfüßen wird in allen Studien bestätigt (Tab.15). Dieses wird einerseits auf kontrakte Weichteilstrukturen zurückgeführt, andererseits wird die Dorsalextension mechanisch durch die Abflachung der Talusrolle eingeschränkt ^[64]. Die Messung des Grades der möglichen Dorsalextension ist dabei ein besserer Indikator für die Limitierung der Bewegung als der Gesamtbewegungsumfang. Von passiv gemessenen Werten zwischen 0° und 17° wird dabei berichtet. Ein Mittelwert von 10,4° in dieser Studie liegt dabei innerhalb des zu erwartenden Bereichs für behandelte Klumpfüße. Auch bei der Bewertung mit Hilfe der beiden Scores steht ein Richtwert von über 10° Dorsalflexion für ein sehr gutes Ergebnis.

Studie	Dorsalextension (in°)
Aronson `90	9,3
Cooper `95	6,5
Hutchins `85	0
Laaveg `80	13
McHale `91	5
Porter `87	15
Yamamoto `88	17
Yngve `90	11
Eigene Ergebnisse	10,4

Tab.15: Studienergebnisse des Bewegungsausmaßes der Dorsalextension

Keiner der in der Literatur beschriebenen Scores berücksichtigt den Wert des Bewegungsumfangs im unteren Sprunggelenk bei der klinischen Untersuchung. Die in dieser wie auch in anderen Studien ^[22] gefundene fehlende signifikante Korrelation verdeutlicht, dass der Bewegungsumfang im unteren Sprunggelenk keinen geeigneten Parameter zur Charakterisierung der Restdeformität darstellt. Das Bewegungsausmaß im unteren Sprunggelenk trägt nicht entscheidend zu einer Verbesserung des Ergebnisses bei, obwohl ein signifikanter Unterschied zwischen betroffenen und kontralateralen Füßen gefunden wurde. In vielen anderen Studien wurde dieser Wert vernachlässigt, so dass ein Vergleich mit publizierten Werten nicht möglich ist.

Auffällig bei der Untersuchung der Fersenstellung war die bei 14,6% der Klumpfüße gemessene varische Rückfußstellung, die auf der kontralateralen Seite nicht vorhanden war. Es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der varischen Fersenstellung und dem klinischen Ergebnis beobachtet, jedoch lässt sich eine unvollständig korrigierte Fehlstellung oder rezidivierende Deformität vermuten. Eine valgische Fersenstellung ist dagegen im Kindes und Erwachsenenalter bis zu 7° tolerierbar ^[64], so dass ein Wert von >5° nicht als Überkorrektur zu verstehen ist. Dieses wird auch durch die Werte der kontralateralen Seite belegt, die bei fünf Patienten größer als 5° waren.

Bei zehn Patienten (24%) dieser Studie bestand eine residuale Vorfußadduktion. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer Vorfußadduktion und einem schlechten Ergebnis, obwohl diese Korrelation in Studien mit einem adulten Patientenkollektiv nicht gefunden wurde ^[22].

Studie	Patienten mit Vorfußadduktion
Hutchins `85	20%
Lowe `73	52%
Magone `89	51%
Otremski `87	48%
Yamamoto `88	34%
Yngve `90	28%
Eigene Ergebnisse	24%

Tab.16: Studienergebnisse der Häufigkeit einer residuellen Vorfußadduktion

Die Vorfußadduktion stellt das häufigste postoperative Problem bei Klumpfüßen dar [2, 20, 21, 49, 61, 71, 73, 79, 80, 81]. Die Ursache dieser Restdeformität wird unterschiedlichen Komponenten zugeschrieben. So machen Main et al. [53] eine talonavikuläre Subluxation, Otremski et al. und Lowe et al. [49, 62] in den meisten Fällen jedoch eine Kombination aus einem Metatarsus varus und einer talonavikulären Subluxation für diese Restdeformität verantwortlich. Eine Unterkorrektur des kalkaneokuboidalen Gelenks wird von Tarraf et al. und Rumyantsev et al. als Ursache angesehen [73, 81].

Der in dieser Studie durchgeführte toe-up Test zur Quantifizierung der Trizepskraft zeigte signifikant unterschiedliche Ergebnisse zwischen betroffenen und kontralateralen Füßen. Eine schon bei Cooper et al. [22] erwähnte signifikante Korrelation der Trizepskraft mit dem Scoreergebnis des Fußes konnte auch durch die vorliegende Studie bestätigt werden. Nachdem Ghanem et al. [30] die Überprüfung der Trizepskraft durch Einbeinhüpfen forderte, wurde der toe-up Test bis zu diesem Zeitpunkt nur am Patientenkollektiv von Cooper durchgeführt. Dieser Test ermöglicht eine Differenzierung zwischen guten und schlechten Ergebnissen. Cooper setzte eine Höchstzahl von 40 toe-ups für Erwachsene fest. Da das Patientenkollektiv dieser Studie jedoch durch ein Durchschnittsalter von 8,3 Jahre gekennzeichnet war, wurde die Höchstzahl auf 20 herabgesetzt. Diese Grenze wird in Frage gestellt, da einige ältere Patienten diese Höchstzahl zwar mit beiden Füßen erreichten und keine Differenz festgestellt werden konnte, mit dem kontralateralen Fuß eine Überschreitung jedoch möglich gewesen wäre. Durch eine Differenzbestimmung zwischen der Zahl der toe-ups mit betroffenem und kontralateralem Fuß hätte eventuell eine bessere Differenzierung auch bei älteren Patienten, die die Höchstzahl mit der kontralateralen Seite überschreiten können, stattfinden können. Die Durchführbarkeit dieses Tests wird durch das Alter der Patienten begrenzt. Wurden in dieser Studie alle Patienten aufgefordert, toe-ups durchzuführen, konnten bei vier Patienten aufgrund fehlender Compliance keine Werte ermittelt werden. Diese vier Patienten waren jünger als 5,4 Jahre. Deshalb sollte als untere Altersgrenze dieses Tests ein Alter von fünf oder sechs Jahren festgelegt werden.

4.4. Diskussion der radiologischen Ergebnisse

Die in der vorliegenden Studie gefundenen Veränderungen der Winkelgrade sind vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Studien (s. Tab.17).

	Anteroposteriorer Strahlengang				Lateraler Strahlengang			TK-Index	Luxation des Navikulare	
	TK	BIM	KMT V	TMT I	TK	Tibio-kalkaneär	Tibio-talar		medial	dorsal
Blakeslee ^[16]	20,7	74,9		3,3	38,6			59,3		
Centel ^[19]	21,2			-6,6	33,7		94,5	54,9		
Chang ^[20]	33,8			-4,6	33,8			67,7		
Cohen-Sobel ^[21]	16			22	21			37	58%	
Cooper ^[22]	17		-8	1	30			47	61%	
Herbsthofer ^[35]	16,1		9,9	10,3	23			39,1		
Laaveg ^[48]	14,5		-4,9		20,9			35,5	88%	
Magone ^[52]	36,7			-3,9	27,4			64,1		
Ponseti ^[68]	15,7		-4	3,3	23,1			38,8		
Yamamoto ^[89]	24,8			-5,8	34,5	56,9		59,3		
Mittelwerte anderer Studien	21,6	74,9	-1,7	2,1	28,6	56,9	94,5	50,2	44%	25%
Eigene Ergebnisse	18,5	73,4	-2,7	6,1	31,6	73,4	104,6	50,2		

Tab.17: radiologische Studienergebnisse (TK= talokalkaneär, BIM= bimalleolär, KMT V= Kalkaneo - Metatarsale V, TMT I= Talo- Metatarsale I - Winkel)

Die Korrelationsanalysen dieser Studie zeigen signifikante Zusammenhänge zwischen radiologischen Werten und Ergebnissen der Scores auf. Sowohl hohe Werte der talokalkaneären, bimalleolären und kalkaneo - Metatarsal V Winkel, als auch niedrige Werte der tibiokalkaneären und talo - Metatarsal I Winkel stellen dabei Indikatoren für ein gutes Ergebnis dar. Die Stellung und die Größe der Fußknochen zueinander kann anhand von Röntgenanalysen sehr gut untersucht werden und ist eine Hilfe zur Beurteilung der Restdeformität.

Diese Korrelationen werden jedoch nicht von allen Autoren gefunden. So betrachten Laaveg et al. ^[48] und Turco ^[83] den lateral gemessenen talokalkaneären

Winkel als den aussagekräftigsten Parameter, da dieser als einziger Winkel signifikante Korrelationen mit dem funktionellen Ergebnis aufweise. Auch Cohen-Sobel et al. ^[21] sehen in diesem Winkel durch hohe Korrelationen mit dem klinischen Ergebnis den besten Indikator. Dagegen wurden bei dem antero-posterioren talokalkanearen Winkel die geringsten Korrelationen gefunden. Bei einer Analyse des bimalleolären Winkels durch Jain et al. ^[44] konnten auch hier signifikante Zusammenhänge mit dem klinischen Grad der Deformität gesehen werden.

Dagegen stellen neuere Studien die Relevanz der radiologischen Winkelmessungen zur Klassifikation der Klumpfüße immer mehr in Frage. Cooper et al. ^[22] fanden keine Korrelationen der talokalkanearen Winkel mit den Ergebnissen der subjektiv-funktionellen Untersuchung und es korrelierte nur ein einziger Wert (Kalkaneo-Metatarsale V Winkel) signifikant. Weder Kumar et al. ^[46] noch Uglow ^[84] konnten Zusammenhänge zwischen klinischen Ergebnissen und talokalkanearen Winkeln feststellen, so dass von einer radiologische Untersuchung als Routinediagnostik oder Klassifikationshilfe abgeraten wurde. Herbsthofer et al. ^[35] stellte signifikante Unterschiede zwischen den Werten der betroffenen und gesunden Füße heraus, jedoch konnte kein Zusammenhang mit den klinischen Ergebnissen hergestellt werden. Wie auch von Kumar et al. ^[46] wurden von Herbsthofer die hohen Standardabweichungen der Werte für die talokalkanearen Winkel für die fehlende klinische Relevanz verantwortlich gemacht. Aufgrund hoher Schwankungen sei eine Differenzierung der Deformität anhand dieser Winkel nicht sinnvoll. Von Joseph et al. ^[45] wird besonders die Aussagekraft des talokalkanearen Indexes in Frage gestellt. Bei der Untersuchung von Klumpfüßen und eines Vergleichskollektives wurden starke Überlappungen der Werte von normalen und betroffenen Füßen deutlich, so dass eine klare Differenzierung nicht möglich war. Es wird ein intraindividueller Vergleich mit präoperativen Werten bevorzugt, da ein Richtwert von $>40^\circ$ in einigen Fällen schon vor der Operation erreicht wurde und deshalb die Beurteilung der Korrektur anhand von Richtwerten nicht sinnvoll gewesen wäre. Von Joseph wird der laterale talokalkaneare Winkel für die Evaluation favorisiert, da es bei seiner Berechnung zu sehr wenigen Überschneidungen zwischen den Bereichen der normalen und betroffenen Füße komme. Jedoch warnt er genauso wie Tarraf et al. ^[81] vor einer Beschränkung auf die talokalkanearen Winkel, da

durch sie nur die Rückfußstellung berücksichtigt werde und keine Beurteilung der Vorfußkorrektur erfolge.

Im Rahmen dieser Studie wurde bei der radiologischen Untersuchung sowohl auf die Rückfußstellung, wie auch auf die besonders von Laaveg et al. ^[48] hervorgehobene Luxation des Os naviculare und auf die Vorfußstellung Wert gelegt. Die vielen Korrelationen mit den Ergebnissen der Scores lassen sich zum Teil auf die in den Scores berücksichtigten Parameter zurückführen. So beinhaltet der Score von McKay den bimalleolären Winkel und der Score von Macnicol den bimalleolären und die talokalkanearen Winkel. Die signifikanten Korrelationen zeigen die hohe Relevanz dieser Parameter innerhalb der Scores auf. Die in den anderen Studien erwähnten funktionellen Ergebnisse wurden in den meisten Fällen anhand des klinisch-subjektiven Scores von Laaveg et al. ^[48] erhoben und enthalten dementsprechend keine radiologischen Werte. Dennoch konnten auch dort einige Korrelationen - besonders mit dem lateralen talokalkanearen Winkel - gefunden werden.

Die radiologische Analyse sollte deshalb zur Evaluation der Morphologie der Knochen ^[68] durchgeführt werden, wobei besonders die bei Klumpfüßen verspätete Ossifikation, das in der Form veränderte Os naviculare und Subluxationen beachtet werden sollten ^[22, 30, 35, 48]. Die Stellung der Knochen zueinander ist bei Klumpfüßen verändert und sollte zur Verlaufskontrolle durch Winkelmessungen dokumentiert werden. Vor einer ausschließlichen Beurteilung und Rezidivvorhersage durch Röntgenbilder wird jedoch gewarnt ^[84], da durch starke interindividuelle Schwankungen anhand der absoluten Werte keine prognostischen Aussagen gemacht werden können.

Eine radiologische Untersuchung trägt deshalb zur objektiven Bewertung der Klumpfüße bei, weil nur durch eine derartige Untersuchung die Stellung der Knochen zueinander untersucht werden kann. Eine klinische Untersuchung der Fersen- und Vorfußstellung sollte diese unterstützen, jedoch nicht ersetzen. Die Messung der radiologischen Winkel ist besonders zur Beurteilung eines Operationserfolges und zur Verlaufskontrolle jedes einzelnen Patienten geeignet. Bei Betrachtung der in der Literatur vorhandenen Normwerte fällt eine große Spannweite auf, die durch interindividuelle Schwankungen bedingt ist. Aus diesem Grund sollte eine Röntgenuntersuchung zur individuellen Beurteilung dienen und zusätzlich eine orientierende Einordnung des Ergebnisses innerhalb des Gesamtkollektivs ermöglichen.

4.5. Diskussion der Scores

Vergleich der Ergebnisse der Scores von Macnicol und McKay

Die Ergebnisse der klinisch-radiologischen Untersuchungen werden durch zwei verschiedene Scores zusammengefasst, jedoch fällt eine unterschiedliche Bewertung einzelner Ergebnisse auf. So wurden nur ein Drittel der Patienten (34%) von beiden Scores in die gleiche Kategorie eingeteilt. Bei 18% der Patienten bestanden sogar zwei Kategorien Unterschied. Obwohl der Score von Macnicol auf dem Score von McKay basiert, entstehen diese Differenzen. Bei 23 von den 25 Patienten, die in verschiedene Kategorien eingeteilt wurden, fiel die Bewertung durch den Score von McKay schlechter aus als diejenige von Macnicol. Dieses lässt sich einerseits auf die teilweise sehr strengen Kriterien von McKay, andererseits auf die engen Punktgrenzen der Kategorien zurückführen. Die Abbildungen 36 und 37 differenzieren die Parameter, die für Punktabzüge bei der Bewertung durch die Scores verantwortlich waren.

Auffallend bei der Analyse des Scores von Macnicol sind die hohen Punktabzüge durch die radiologischen Parameter. Obwohl kaum Funktionseinschränkungen oder Fersen- und Vorfußfehlstellungen gefunden werden konnten, zeigen die radiologischen Bilder eine Fehlstellung der Knochen zueinander. Dies könnte durch die unzureichende operative Rückfußkorrektur durch ein dorsales oder dorsomediales Release begründet werden.

Bei der Analyse des Scores von McKay fallen die durch strenge Kriterien bedingten Punktabzüge bei der Beurteilung des Bewegungsumfangs des oberen Sprunggelenks auf. Auch der in der vorliegenden Studie radiologisch gemessene bimalleoläre Winkel verdeutlicht die verbleibene Fehlstellung der Knochen, wobei nicht zwischen einer Ursache der Fehlstellung im Rück- oder Vorfuß differenziert werden kann. Ein weiterer Parameter, der für das schlechte Ergebnis bei McKay verantwortlich ist, ist der Schmerz im betroffenen Fuß. Dieser kann bei McKay für einen Abzug von bis zu 50 Punkten führen, bei Macnicol dagegen nur bis zu 20 Punkten. Daher beruhen bei McKay 18,2% der Abzüge auf dem Parameter des Schmerzes.

Bei der Analyse der Scoreergebnisse wird deutlich, dass das Gesamtergebnis keine Differenzierung zwischen einzelnen Parametern leisten kann. Es ist deshalb notwendig, eine genaue Betrachtung der Ergebnisse durchzuführen, um sie kritisch hinterfragen zu

können. Auch ist es aus diesem Grund bei einem Vergleich von verschiedenen Studien sehr wichtig, die unterschiedlichen Bewertungsschemata zu berücksichtigen und nicht anhand der Anzahl von sehr guten Ergebnissen zu urteilen.

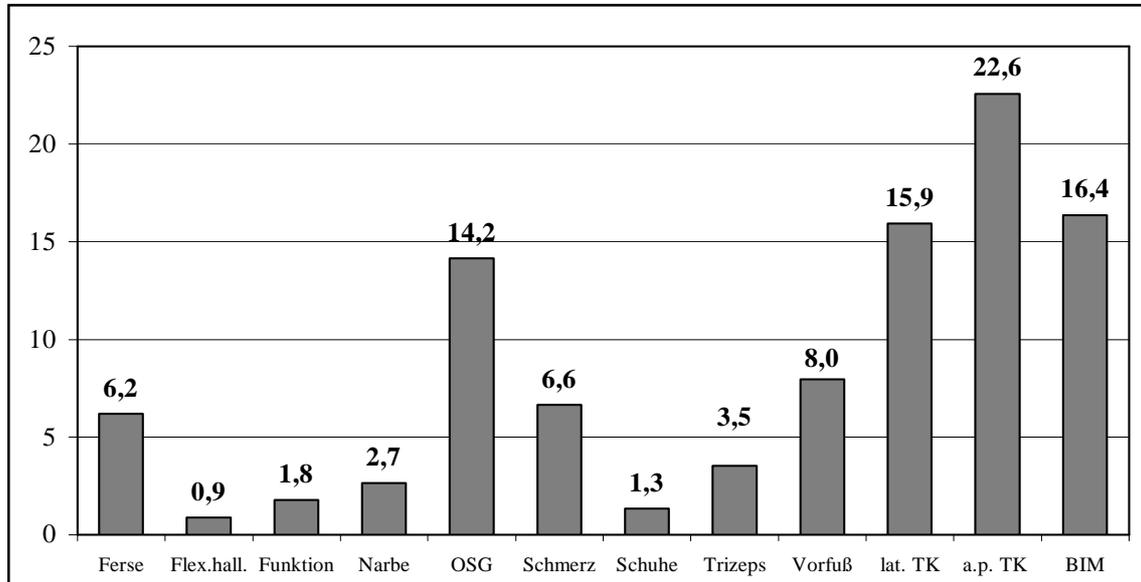


Abb.36: Prozentualer Anteil der Parameter an den Punktabzügen des Scoreergebnisses von Macnicol (Flex.hall.-Funktion des M. flexor hallucis, OSG- oberes Sprunggelenk, TK-Talokalkaneärer Winkel, BIM-bimalleolärer Winkel)

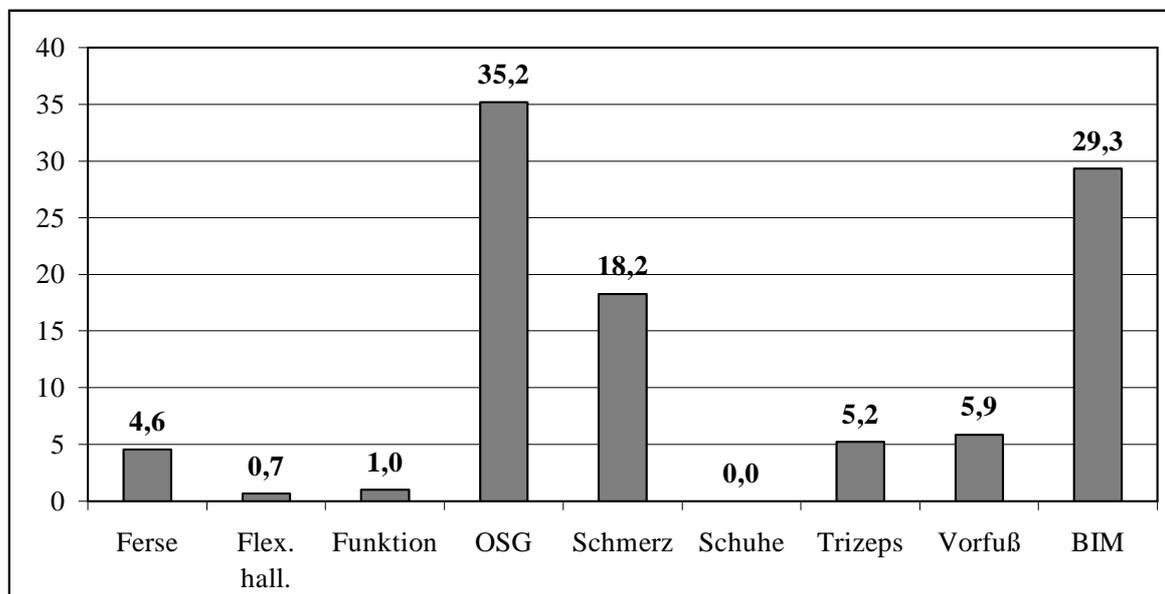


Abb.37: Prozentualer Anteil der Parameter an den Punktabzügen des Scoreergebnisses von McKay (Flex.hall.-Funktion des M. flexor hallucis, OSG- oberes Sprunggelenk, BIM-bimalleolärer Winkel)

Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien

Ein Vergleich der Studienergebnisse mit anderen Studien wird durch die unterschiedlichen Bewertungsmethoden erschwert. Deshalb werden die Studien von Ghanem et al. ^[30], Macnicol et al. ^[50], McKay ^[57] und Yamamoto et al. ^[89], bei denen die gleichen Scores benutzt wurden, mit den eigenen Ergebnissen verglichen.

	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Schlecht	Versager
Macnicol	60%	24%	16%	0%	
Eigene Ergebnisse Macnicol	34%	32%	18%	16%	
McKay	81%		4%	15%	
Ghanem (nach McKay)	14%	23%	46%	14%	3%
Yamamoto (nach McKay)	63%	17%	12%	0%	8%
Eigene Ergebnisse McKay	13%	13%	47%	24%	3%

Tab.18: Vergleich der Scoreergebnisse

Der Vergleich der Ergebnisse nach dem Score von Macnicol wird mit der Studie über 234 Klumpfüße von Macnicol et al. ^[50] durchgeführt. Das Durchschnittsalter von zehn Jahren ist vergleichbar mit unserer Studie. Das Patientenkollektiv umfasste präoperativ Grad 2- (100 Füße) und Grad 3- (134 Füße) Füße nach Harrold et al. ^[32]. Alle Patienten dieses Kollektivs wurden durch ein dorsomediolaterales Release therapiert. 31% der Patienten wurden mehrmals operiert.

Bei der Analyse einzelner Parameter des Scores unserer Studie (s. Abb.36) fallen die hohen Punktabzüge aufgrund einer schlechten Beweglichkeit des oberen Sprunggelenks (14,2% der Gesamtabzüge) und besonders das schlechte radiologische Ergebnis auf (54,9% der Gesamtabzüge). Der durchschnittliche talokalkaneare Index unserer Studie beträgt 50,2°, bei Macnicol liegt er mit 61,8° wesentlich höher. Besonders der anteroposteriore talokalkaneare Winkel von geforderten 25° wurde in unserer Studie bei 24%, bei Macnicol dagegen bei 97% der Klumpfüße erreicht. Diese wesentlichen Unterschiede der Ergebnisse erklären das in unserer Studie schlechtere Gesamtergebnis. Da beim Vergleich mit anderen Röntgenwerten (s. Tab.17) die Werte unserer Studie nicht außerhalb des zu erwartenden Bereichs für Klumpfüße liegen, muss nach der Ursache für die überdurchschnittlich guten radiologischen Ergebnisse von

Macnicol gesucht werden. Die Patientenkollektive beider Studien sind vergleichbar, der Unterschied liegt jedoch in der Operationstechnik. Wurde von Macnicol ein dorsomediolaterales Release durchgeführt, so wurde in unserer Studie ein dorsales oder dorsomediales Release angewendet. Bei einem Vergleich von verschiedenen Operationstechniken kamen Magone et al. ^[52] und Centel et al. ^[19] beide zu dem Schluss, dass die Korrektur der talokalkanearen Winkel bei einem ausgiebigen dorsomediolateralen Release am größten sei. Sie gaben talokalkaneare Indices von 81° und 59° für Klumpfüße an, die mit einem dorsomediolateralen Release behandelt wurden. Die niedrigen radiologischen Werte unserer Studie könnten deshalb auf eine unzureichende Rückfußkorrektur des dorsalen bzw. dorsomedialen Releases zurückzuführen sein. Die Stellung des Talus und des Kalkaneus zueinander wird durch eine zurückhaltendere Operationstechnik nicht so sehr beeinflusst, wodurch es zu einer Restdeformität des unteren Sprunggelenkkomplexes kommen könnte, welche durch geringe talokalkaneare Winkel widergespiegelt wird.

Der Vergleich der Ergebnisse des Scores von McKay wird mit drei anderen Studien von McKay ^[57], Ghanem et al. ^[30] und Yamamoto et al. ^[89] durchgeführt. Die Daten der Studie von McKay beziehen sich auf 55 nachuntersuchte durch ein dorsomediolaterales Release therapierte Klumpfüße im Alter von durchschnittlich 3,2 Jahren. Dieser sehr kurze Nachuntersuchungszeitraum, in dem die Therapie noch nicht als beendet angesehen werden kann, wird von Ghanem für die sehr strengen Kriterien des Scores von McKay verantwortlich gemacht. So wird z.B. eine mögliche Dorsalflexion von weniger als 10° mit einem Abzug von 30 Punkten geahndet und der Fuß kann höchstens die Kategorie befriedigend erreichen. Dieses war bei unserer Studie bei 29% der Füße der Fall. Die sehr guten Ergebnisse der Studie von McKay lassen sich deshalb möglicherweise durch diesen sehr kurzen Nachuntersuchungszeitraum begründen.

Dagegen wurde das gemischte Patientenkollektiv (15 Füße mehrmals operiert, zehn Füße einmaliges dorsomediales Release, zehn Füße konservativ) von Ghanem et al. nach Beendigung der Therapie mit durchschnittlich 14,8 Jahren nachuntersucht. Diese Nachuntersuchung diente zum Vergleich von verschiedenen Bewertungsmethoden, wobei einer der verwendeten 13 Scores auch derjenige von McKay war. Durch die Einteilung der im Vergleich zu den anderen Scores sehr strikten Kriterien von McKay wurde das Patientenkollektiv von Ghanem ähnlich wie das in der vorliegenden Studie

untersuchte Kollektiv klassifiziert. Die Kategorie „gut“ umfasste bei Ghanem 23% der Patienten, dagegen ließen sich nur 13% der Patienten unserer Nachuntersuchung in diese Kategorie einteilen. Eine Erklärung für die besseren Ergebnisse von Ghanem könnte die Berücksichtigung auch konservativ behandelter Patienten sein, welche aufgrund der in den meisten Fällen vorhandenen geringer ausgeprägten Ausgangsdeformität bessere Ergebnisse aufweisen als operierte Patienten.

Die Studienergebnisse von Yamamoto et al., von dem 24 Klumpfüße, die mit einem dorsomedialen Release behandelt wurden, nachuntersucht wurden, fallen im Vergleich zu unseren Ergebnissen besser aus. Yamamoto berücksichtigt in dieser Studie jedoch nur Patienten, die bei der Operation älter als fünf Jahre waren. Das Kollektiv umfasst 13 voroperierte und elf primär konservativ behandelte Füße. Die evaluierten Daten sind aufgrund der unterschiedlichen Kollektive – in dieser Studie wurden nur 12% der Patienten in einem Alter von mehr als fünf Jahren operiert bzw. reoperiert – nicht miteinander zu vergleichen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie fallen schlechter als die in der Literatur veröffentlichten Daten aus, was sich möglicherweise durch die Zusammensetzung des Patientenkollektivs, unterschiedliche Operationstechniken und durch verschieden lange Nachuntersuchungszeiträume erklären lässt.

4.6. Diskussion der pedobarometrischen Ergebnisse

4.6.1. Andere Studien zur Evaluation der dynamischen Restdeformität

Alle Patienten dieser Studie wurden zur Beurteilung der Restdeformität pedobarometrisch nachuntersucht. Obwohl die dynamische Komponente der Deformität quantitativ schwer zu erfassen ist ^[50], wurden von verschiedenen Autoren Studien zur Evaluation der dynamischen Komponente des Klumpfußes veröffentlicht. Die Datenerhebung wurde durch verschiedene Hilfsmittel unterstützt. Von Asperheim et al. ^[2] und Otis et al. ^[60] wurde eine Ganganalyse bei behandelten Klumpfüßen mittels EMG-Messungen durchgeführt. Die EMG-Messungen von Otis zeigten eine signifikant längere Aktivität des medialen M. gastrocnemius für die Klumpfüße, jedoch konnten keine Korrelationen zwischen diesen Werten und den Ergebnissen der klinisch-radiologischen Untersuchung gefunden werden. Eine individuelle Analyse der

Restdeformität von 21 Klumpfüßen wurde von Asperheim et al. durchgeführt ^[2]. Da die initiale Operation bei betroffenen Kindern durchgeführt wird bevor sie die ersten Gehversuche machen, schränkt Asperheim die klinische Relevanz dieser Analyse ein. Er folgert, dass die Ganganalyse zur Unterstützung der klinischen Untersuchung und zur Langzeitkontrolle eingesetzt werden kann.

Eine Analyse der dynamischen Restdeformität mit Hilfe von unterschiedlichen Druckmessplatten wurde von Aronson et al. ^[1], Brand et al. ^[17], Cooper et al. ^[22], Huguenin et al. ^[38], Widhe et al. ^[85] und Hee et al. ^[33] veröffentlicht. Huguenin beurteilte dabei mit einer selbstentworfenen photoelastometrischen Platte quantitativ die Fußabdrücke von 53 operativ behandelten Klumpfüßen. Durch die Einteilung des Fußes in Vor-, Mittel- und Rückfuß konnte in den meisten Fällen (79%) eine im Vergleich zum normalen Kollektiv stark erhöhte Mittelfußbelastung festgestellt werden. Hee et al. bewerteten 58 behandelte Klumpfüße ganganalytisch und pedobarometrisch, wobei die Pedobarometrie als statische und nicht als dynamische Untersuchung genutzt wurde. Pedobarometrisch konnte eine verminderte Rückfußbelastung der betroffenen Füße deutlich gemacht werden. Eine objektive Untersuchung der Ganglinie wurde von Aronson und Brand mit Hilfe einer Kraftmessplatte durchgeführt. Während Brand eine erhöhte Variabilität der Ganglinien bei aufeinanderfolgenden Messungen, jedoch keine Lateralisation der Linien analysierte und die Methodik als nicht ausreichend sensitiv beurteilte ^[17], wurde von Aronson eine Lateralisation der Ganglinie bei Klumpfüßen gefunden ^[1]. Trotz einer deutlichen Lateralisation konnte anhand dieses Tests keine ausreichende Differenzierung eines Klumpfußes von einem normalen Fuß gemacht werden. Diese teilweise widersprüchlichen und nicht ausreichenden Ergebnisse veranlassten Cooper und Widhe dazu, genauere Untersuchungen der Restdeformität bei Klumpfüßen zu veranlassen. Diese beiden ausführlichen Studien sollen im Folgenden mit den Ergebnissen unserer Studie verglichen werden.

Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs von Cooper betrug 34 Jahre, die 22 von Widhe nachuntersuchten Patienten waren durchschnittlich neun Jahre alt. Eine Fußdruckmessung für die Bewertung von kindlichen Klumpfüßen kann ab einem Alter von vier Jahren durchgeführt werden, da sich zu diesem Zeitpunkt ein Bewegungsmuster entwickelt hat, welches den Bodenreaktionskräften von Erwachsenen gleicht ^[9, 85].

4.6.2. Die Studien von Widhe und Cooper

In der Studie von Widhe wurden die Parameter Kraft, maximaler Druck und Fläche berechnet und zusätzlich wurde die Ganglinie und der Innenrotationswinkel analysiert. Ein Vergleich der Werte der betroffenen Füße fand mit der kontralateralen nicht betroffenen Seite statt. Bei Betrachtung der gesamten Belastungsfläche konnte Widhe eine erniedrigte Druckbelastung und eine vergrößerte Fläche bei den Klumpfüßen feststellen, obwohl die betroffenen Füße bei der klinischen Messung der Fußlänge signifikant kürzer waren. Eine signifikante Lateralisation der Ganglinie im Bereich des Vor-, Mittel- und Rückfußes, sowie ein vergrößerter Innenrotationswinkel von $4,1^\circ$ bei den Klumpfüßen wurden festgestellt. Da die Patienten auch subjektiv-klinisch-radiologisch untersucht wurden, konnten Korrelationsanalysen durchgeführt werden. Der Grad der Lateralisation der Ganglinie korrelierte signifikant mit den subjektiven Einschätzungen der Patienten. Dagegen war kein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Pedobarometrie und den radiologischen Parametern zu sehen. Widhe schlussfolgert, dass die Pedobarometrie wertvolle und objektive Informationen zur Ergänzung der Evaluation von behandelten Klumpfüßen gibt und die Variabilität dieser Untersuchung durch einen intraindividuellen Vergleich bei unilateralen Klumpfüßen reduziert werden kann.

Cooper untersuchte 54 Klumpfüße u.a. pedobarometrisch nach, wobei er die 14 kontralateralen Füße der einseitig betroffenen Patienten als Vergleichskollektiv definierte. Während Cooper keine Veränderungen bei Betrachtung des gesamten Fußabdrucks fand, konnte er nach Unterteilung des Fußes in fünf Bereiche (Ferse, Mittelfuß, Metatarsalköpfe, Großzehe, laterale Zehen) signifikante Unterschiede zwischen den betroffenen und kontralateralen Füßen nachweisen. Da es nicht eindeutig war, welche Parameter für gute bzw. schlechte Ergebnisse verantwortlich waren, untersuchte er fünf verschiedene Parameter (Fläche, maximaler Druck, Kraft im Verhältnis zum Körpergewicht, Druck-Zeit-Integral, Kraft-Zeit-Integral im Verhältnis zum Körpergewicht). Bei Betrachtung der verschiedenen Fußbereiche waren besonders im Bereich des Mittelfußes signifikante Unterschiede zu erkennen. Es wurde eine erhöhte Kraft- und Druckbelastung, ein erhöhtes Druck-Zeit-Integral, und ein erhöhter Impuls des Mittelfußes bei den Klumpfüßen deutlich. Zusätzlich fiel eine verminderte Kraft und Druckbelastung der Ferse, eine verminderte Fläche der Metatarsalköpfe und

eine vergrößerte Fläche und ein erhöhter Impuls im Bereich der lateralen Zehen auf. Da ein Zusammenhang zwischen den Veränderungen bei der Pedobarometrie und den subjektiv-klinisch-radiologischen Ergebnissen nur für den Wert des Druck-Zeit-Integrals des gesamten Fußes gefunden wurde, wurden die Veränderungen als für einen betroffenen Fuß tolerierbar gewertet und nicht als Indikatoren für eine gute bzw. schlechte Funktion angesehen. Die verminderte Fersen- und erhöhte Mittelfußbelastung wurde als eine Gewichtsverlagerung interpretiert, die durch eine verminderte Dorsalextension der Klumpfüße zustande kommt. Ein leichter Transfer der Hauptbelastung des Fußes nach lateral wurde durch einen erhöhten Impuls der lateralen Zehen bestätigt.

4.6.3. Diskussion der eigenen Ergebnisse

In dieser Studie wurde der Fußabdruck durch die prc-Maske in zehn Bereiche und durch die LM-Maske in zwei Bereiche untergliedert, wodurch eine detailliertere Analyse der Druckverteilung ermöglicht wurde als bei Cooper^[22] und Widhe^[85]. Eine Einteilung in Vor-, Mittel- und Rückfuß berücksichtigt die Gewichtsverlagerung von der Ferse in den Mittelfußbereich, jedoch kann durch eine derartige Einteilung die Lateralisation nicht quantifiziert werden. Deshalb wurde für die Untersuchung der Klumpfüße eine Maske gewählt, durch welche sowohl die Lateralisation wie auch die Gewichtsverlagerung in den Mittelfußbereich evaluiert werden konnte. Durch die Aufteilung des Fußes in zehn Bereiche konnten typische Belastungsmuster sehr differenziert betrachtet und mit Hilfe der LM-Maske charakteristische Veränderungen zusammenfassend dargestellt werden. Zur Durchführung einer ausführlichen Analyse wurden zu Beginn fünf verschiedene Parameter gewählt, die alle signifikante Veränderungen aufzeigten, für den Gebrauch im klinischen Alltag jedoch nicht alle geeignet erscheinen. Das Patientenkollektiv umfasste ausschließlich einseitig betroffene Patienten. Daher war bei jedem Patienten ein Vergleich mit der nicht betroffenen Gegenseite möglich. Es sollte jedoch beachtet werden, dass das Muster der Bodenreaktionskraft der kontralateralen Seite möglicherweise nicht mit demjenigen eines gesunden Kollektivs übereinstimmt. Deshalb sollte die kontralaterale Seite nicht als uneingeschränkte Kontrolle dienen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der prc-Maske und der LM-Maske mit den klinischen Ergebnissen zusammengefasst und eine Bewertungsmöglichkeit für Klumpfüße soll mit Hilfe der Pedobarometrie entwickelt werden.

Bei Betrachtung des gesamten Fußes konnte in dieser Studie eine signifikant erniedrigte Kraftentwicklung und ein verringerter Gesamtimpuls auf der betroffenen Seite gefunden werden. Die Ergebnisse der Analyse der verschiedenen Maskenbereiche werden anschaulich in Abbildung 30 wiedergegeben. Auffällig sind die bis auf eine Ausnahme signifikant niedrigeren Werte der Parameter in den Maskenbereichen M1, M3, M5, M6, M8 und M9. Diese Maskenbereiche liegen alle auf der medialen Seite des Fußes. Die Parameter der lateralen Maskenbereiche M4, M7 und M10 dagegen weisen ausnahmslos eine Erhöhung der Werte auf. Die schon von Cooper gefundene Verlagerung der Belastung vom Fersen- in den Mittelfußbereich scheint aufgrund einer insgesamt leichten Erniedrigung der Werte des Fersenbereichs zu erfolgen, jedoch ist sie nicht so charakteristisch für die betroffenen Füße wie die Verlagerung der Belastung nach lateral. Diese Konstellation der Veränderungen der Parameter kann optimal durch die Medial-/Lateraleinteilung des Fußes in zwei Bereiche entlang der Achse Fersenmitte-Metatarsale II berücksichtigt werden. Die weiteren Berechnungen werden anhand des Parameters Impuls (Kraft-Zeit-Integral) durchgeführt. Der Impuls wurde gewählt, da er einerseits die zeitliche Komponente berücksichtigt, andererseits ein guter Indikator für die Höhe der Druckbelastung eines Patienten darstellt und deshalb den gesamten Abrollvorgang sehr gut definiert. Die Veränderungen des lateralen und medialen Impulses bei Klumpfüßen wurden durch den Vergleich mit der kontralateralen Seite deutlich. Es entsteht bei den behandelten Füßen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Belastung des lateralen Fußes. Der Grad dieser veränderten Belastung steht in einem direkten Zusammenhang mit dem klinisch-radiologischen Ergebnis. Je mehr der Fuß lateral belastet wird, desto schlechter ist das Ergebnis ($r=0,432$, $p<0,01$). Dieses wird durch das Verhältnis von lateralem zu medialem Impuls innerhalb eines Fußabdrucks deutlich, so dass ein Vergleich mit der kontralateralen Seite nicht notwendig ist. Dadurch kann dieser Indikator auch bei beidseitig betroffenen Patienten eingesetzt werden.

In Abbildung 34 und 35 wird veranschaulicht, dass eine signifikante Korrelation zwischen den Werten der Klumpfüße und den Scores besteht. Korreliert man die Ergebnisse der Scores jedoch mit den Werten des lateromedialen Impulses der kontralateralen Füße, so erhält man keine signifikante Abhängigkeit. Der Quotient ist bei einem betroffenen Fuß signifikant verändert, bei einem kontralateralen Fuß lässt sich jedoch keine Korrelation beschreiben. Ein Bewertungsschema anhand des Wertes des lateromedialen Impulses ist deshalb möglich.

Für die Entwicklung eines Bewertungsschemas ist es wichtig, sich erneut die absoluten Werte vor Augen zu führen (s. Abb.32). Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der betroffenen Füße (Mittelwert $1,86 \pm 0,81$, Spannweite 0,55-3,5) und den Werten der kontralateralen Füße (Mittelwert $1,06 \pm 0,32$, Spannweite 0,55-1,79). Bezogen auf die Ergebnisse dieser Studie wurde bei betroffenen Füßen ein maximaler Wert von 3,5 erreicht. Die Spannweite liegt zwischen 0,55 und 3,5, so dass im Hinblick auf ein Bewertungsschema besonders diese Werte berücksichtigt werden sollten.

Ein Mittelwert von $1,06 \pm 0,32$ der kontralateralen Seite stellt einen vorläufigen Normwert für die kontralateralen Füße dar. Wenn dieser Wert bei betroffenen Füßen erreicht wird, sollte das Ergebnis als sehr gut bezeichnet werden, da in diesem Fall kein Unterschied zwischen einem kontralateralen und betroffenen Fuß zu sehen ist. Wird dieser Normwert jedoch stark überschritten, wird der Fuß einer der anderen Kategorien zugeteilt. Eine Unterschreitung des Normwertes könnte im Sinne einer Überkorrektur interpretiert werden. Ob dieses für operierte Klumpfüße tatsächlich zutrifft, kann mit Hilfe der Ergebnisse dieser Studie nicht eindeutig beantwortet werden. Das nachfolgend dargestellte Bewertungsschema weist in der Kategorie „sehr gut“ keine untere Grenze auf. Weitere Studien sind notwendig, um gegebenenfalls eine Untergrenze festzulegen, die eine Abgrenzung einer Überkorrektur von einem sehr guten Ergebnis ermöglicht. Die Einteilung der Kategorien orientiert sich am Mittelwert der kontralateralen Seite und dessen Standardabweichung. So werden Werte innerhalb der doppelten Standardabweichung als sehr gut bezeichnet, darüberliegende Werte jedoch einer der anderen Kategorien zugeteilt.

Das Ergebnis dieser Studie nach dem entwickelten Lateralitätsindex wird in folgender Tabelle (Tab.19) dargestellt.

Beurteilung	Wert des Lat/Med Impulses	Anzahl der Patienten
Sehr gut	<1,7	20 (53%)
Gut	1,7-2,4	9 (24%)
Befriedigend	2,4-3,1	4 (10%)
Schlecht	>3,1	5 (13%)

Tab.19: Ergebnis nach dem Lateralitätsindex

Eine Beurteilung der Restdeformität anhand pedobarometrischer Untersuchungen ist mit Hilfe des Lateralitätsindex möglich. Durch ihn wird eine Aussage über eine Verlagerung der Belastung des Fußes nach lateral gemacht. Da die Vergleichsdaten von den kontralateralen Füßen evaluiert wurden und es fraglich ist, ob das Belastungsmuster der kontralateralen Seite mit demjenigen von gesunden Füßen übereinstimmt, ist zur Überprüfung der Gültigkeit des Indexes und der Einteilung der Kategorien eine Untersuchung eines Vergleichskollektivs notwendig, welches keine Fußdeformitäten aufweist.

Um eventuelle Zusammenhänge zwischen dem Lateralitätsindex und den klinisch-radiologischen Daten zu untersuchen, wurden weiterführende Korrelationen durchgeführt. Die dabei gefundenen Zusammenhänge charakterisieren den lateromedialen Impuls als einen Parameter, der sensibel gegenüber Veränderungen des Vor- und Rückfußes ist. Viele der bei der Korrelation der klinisch-radiologischen Parameter mit den Scores hervorgehobenen Parameter wie die Vorfußstellung, die Dorsalextension und die radiologischen Daten der anteroposterioren Aufnahmen korrelieren auch signifikant mit dem lateromedialen Impuls. Dagegen konnten für den toe-up Test und die lateralen radiologischen Parameter keine Zusammenhänge mit den Werten des lateromedialen Impulses herausgestellt werden. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass eine verstärkte Lateralisation der Druckverteilung unabhängig von der Trizepskraft und einigen radiologischen Untersuchungen, die die Rückfußstellung beurteilen, beobachtet werden kann. Der lateromediale Impuls soll deshalb nicht als uneingeschränkter Parameter gelten, der die Druckverteilung beschreibt. Er gibt Informationen über die besonders bei Klumpfüßen beobachtete Lateralisation, jedoch werden andere Charakteristika, wie z.B. eine durch eine Spitzfußstellung bedingte Verlagerung der Belastung in den Mittel- und Vorfuß, nicht berücksichtigt.

4.6.4. Schlussfolgerung

Obwohl Ganganalysen und Fußdruckmessungen bei Patienten mit Klumpfüßen routinemässig zur Evaluation der Restdeformität durchgeführt werden, fehlt ein Bewertungsschema für die pedobarometrische Analyse. Aufgrund zahlreicher Parameter und unterschiedlicher Einteilungen des Fußes erscheint es schwierig, eine aussagekräftige Bewertung charakteristischer Belastungsmuster anhand weniger oder eines einzigen Indikators zu finden. Im Rahmen dieser Studie wurden Informationen über verschiedene Parameter und Maskenbereiche der Pedobarometrie gesammelt und signifikante Veränderungen bei Klumpfüßen gefunden. Diese wurden vor dem Hintergrund der Ergebnisse der klinisch-radiologischen Untersuchung ausgewertet und innerhalb eines Indexes zusammenfassend dargestellt. Mit Hilfe dieses leicht zu bestimmenden und auch bei Messungen an beidseitig betroffenen Patienten anwendbaren Lateralitätsindexes ist es möglich, Aspekte der Restdeformität zu quantifizieren. Dieses objektive Bewertungsschema vereinfacht den Vergleich zwischen verschiedenen Patientenkollektiven und sollte besonders im Rahmen von Langzeitstudien als Verlaufparameter und zur Therapiekontrolle auf seine Eignung geprüft werden. Eine sorgfältige klinische und radiologische Beurteilung der Restdeformität wird dadurch unterstützt, jedoch nicht ersetzt. Es könnte eine Hilfe bei der Stellung von Operationsindikationen darstellen, besonders wenn anhand der klinisch-radiologischen Untersuchung beginnende pathologische Veränderungen noch nicht deutlich werden. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob die Werte der nicht betroffenen Füße mit denen eines gesunden Vergleichskollektivs übereinstimmen, und ob das in dieser Studie entwickelte Bewertungssystem einen prognostischen Indikator für Langzeitergebnisse in der Klumpfußbehandlung darstellt.

5. Fragebogen

Name		Größe	
Vorname		Gewicht	
Geb Datum		Kennnummer	
		Unters Datum	
betroffene Seite	<input type="radio"/> re <input type="radio"/> li <input type="radio"/> bds		
Freizeit	<input type="radio"/> nimmt an allen Aktivitäten teil <input type="radio"/> geringe Einschränkungen <input type="radio"/> große Einschränkungen		
Ausbildung	<input type="radio"/> Kindergarten <input type="radio"/> Schule <input type="radio"/> Lehre <input type="radio"/> Beruf		
Schmerz	<input type="radio"/> beschwerdefrei <input type="radio"/> gelegentlicher Belastungsschmerz <input type="radio"/> ständiger Belastungsschmerz <input type="radio"/> gelegentlicher Schmerz ohne Belastung <input type="radio"/> häufiger Schmerz ohne Belastung	Zufriedenheit mit der Operation <input type="radio"/> volle Zufriedenheit <input type="radio"/> eingeschränkte Zufriedenheit <input type="radio"/> Unzufriedenheit	
Funktion	<input type="radio"/> betroffener Fuß ist in der Funktion nicht eingeschränkt <input type="radio"/> betroffener Fuß ist kaum eingeschränkt <input type="radio"/> betroffener Fuß ist weitestgehend eingeschränkt		
Bemerkungen			
betroffene Seite			
Trizepskraft	<input type="radio"/> Zehenstand betroffene Seite <input type="radio"/> Zehenstand mit beiden Füßen <input type="radio"/> kein Zehenstand möglich		
Flexor Hallucis	<input type="radio"/> funktioniert <input type="radio"/> funktioniert nicht		
Narbe	<input type="radio"/> zart und wenig auftragend <input type="radio"/> weit und empfindlich		
Schulversorgung	<input type="radio"/> normaler Abrieb <input type="radio"/> erhöhter Seitenabrieb		
Fersengang	<input type="radio"/> möglich <input type="radio"/> nicht möglich <input type="radio"/> keine Compliance		
	re	li	
ROM OSG	<input type="radio"/> >10° <input type="radio"/> 6-10° <input type="radio"/> 0-5°	<input type="radio"/> >10° <input type="radio"/> 6-10° <input type="radio"/> 0-5°	
ROM OSG abs.	_____	_____	
ROM USG			
ROM USG abs.	_____	_____	
Fersenstellung	<input type="radio"/> neutral/passiv korrigierbar <input type="radio"/> 0-5° Varus <input type="radio"/> >5° Varus <input type="radio"/> 0-5° Valgus <input type="radio"/> >5° Valgus	<input type="radio"/> neutral/passiv korrigierbar <input type="radio"/> 0-5° Varus <input type="radio"/> >5° Varus <input type="radio"/> 0-5° Valgus <input type="radio"/> >5° Valgus	
Vorfußstellung	<input type="radio"/> neutral/passiv korrigierbar <input type="radio"/> 0-5° Varus <input type="radio"/> >5° Varus	<input type="radio"/> neutral/passiv korrigierbar <input type="radio"/> 0-5° Varus <input type="radio"/> >5° Varus	
Bimalleolärer Winkel	<input type="radio"/> >80° <input type="radio"/> 70-80° <input type="radio"/> <70°	<input type="radio"/> >80° <input type="radio"/> 70-80° <input type="radio"/> <70°	
A.P. talocalcanärer Winkel	<input type="radio"/> >25° <input type="radio"/> 20-25° <input type="radio"/> <20°	<input type="radio"/> >25° <input type="radio"/> 20-25° <input type="radio"/> <20°	
lat. talocalcanärer Winkel	<input type="radio"/> >35° <input type="radio"/> 20-25° <input type="radio"/> <25°	<input type="radio"/> >35° <input type="radio"/> 20-25° <input type="radio"/> <25°	
toe ups im Einbeinstand	<input type="radio"/> 20 toe ups möglich <input type="radio"/> weniger als 20 toe ups möglich <input type="radio"/> toe ups unmöglich	<input type="radio"/> 20 toe ups möglich <input type="radio"/> weniger als 20 toe ups möglich <input type="radio"/> toe ups unmöglich	

6. Scores

McKay (1983), von der maximalen Punktzahl 180 werden die entsprechenden Punkte subtrahiert, um das Ergebnis zu beurteilen:

Parameter	Ausprägung	Punkte
1. Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk	>10-0-40	0
	>10-0-30	-10
	>10-0-25	-20
	<10-0-25	-30
2. Bimalleolärer Winkel	83-90°	0
	76-82°	-10
	50-75°	-20
3. Trizepskraft	Zehenstand auf dem betroffenen Fuß	0
	Zehenstand auf beiden Füßen	-10
	kein Zehenstand möglich	-20
4. Fersenstellung	0-5° Valgus	0
	5-10° Valgus	-5
	>10° Valgus	-10
	Varus	-10
5. Vorfußstellung	neutral	0
	0-5° Varus oder Valgus	-5
	>5° Varus oder Valgus	-10
6. Flexor hallucis longus	funktioniert	0
	funktioniert nicht	-10
7. Schmerz im oberen Sprunggelenk	ständiger, behindernder Schmerz	-30
	tolerierbar während der Aktivität	-20
	Schmerz am Ende des Tages	-10
	Schmerz nur bei starken Belastungen	-5
8. Schmerz im unteren Sprunggelenk	ständiger, behindernder Schmerz	-20
	tolerierbar während der Aktivität	-15
	Schmerz am Ende des Tages	-10
	Schmerz nur bei starken Belastungen	-5
9. Schuhversorgung	Keine modischen Konfektionsschuhe	-5
	Schuh wird durch Fuß verformt	-10
10. Sport	konkurrenzfähig	0
	nicht konkurrenzfähig	-15

Macnicol (2000), von maximal 130 Punkten werden die entsprechenden Punkte subtrahiert:

Parameter	Ausprägung	Punkte
1. Dorsalextension im oberen Sprunggelenk	>10°	0
	6-10°	-5
	0-5°	-10
	0°	-20
2. Fersenstellung	0-5° Valgus	0
	>5° Valgus	-5
	Varus	-10
3. Vorfußstellung	neutral oder passiv korrigierbar	0
	0-5° Varus	-5
	>5° Varus	-10
4. Bimalleolärer Winkel	>80°	0
	70-80°	-5
	<70°	-10
5. Anteroposteriorer talokalkaneär Winkel	>25°	0
	20-25°	-5
	<20°	-10
6. Lateraler talokalkaneärer Winkel	>35°	0
	35-25°	-5
	<25°	-10
7. Trizepskraft	Zehenstand auf dem betroffenen Fuß	0
	Zehenstand auf beiden Füßen	-5
	kein Zehenstand möglich	-10
8. Flexor hallucis longus	funktioniert	0
	funktioniert nicht	-10
9. Narbe	zart und nicht empfindlich	0
	weit und empfindlich	-5
10. Schmerz	nicht vorhanden	0
	gelegentlicher Schmerz	-5
	bei Belastung	-10
	ständiger, behindernder Schmerz	-20
11. Schuhversorgung/-abrieb	vergleichbar mit Gegenseite	0
	erhöhter Seitenabrieb	-5
12. Freizeitaktivität	keine Einschränkungen	0
	geringe Einschränkungen	-5
	Teilnahme nicht möglich	-10

7. Literaturverzeichnis

1. Aronson, J. and C.L. Puskarich, *Deformity and disability from treated clubfoot*. J Pediatr Orthop, 1990. **10**(1): S. 109-19.
2. Asperheim, M.S., *et al.*, *Evaluation of residual clubfoot deformities using gait analysis*. J Pediatr Orthop B, 1995. **4**(1): S. 49-54.
3. Atar, D., *et al.*, *Revision surgery in clubfeet*. Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst, 1990. **50**(2): S. 149-59.
4. Atar, D., *et al.*, *Tarsal navicular position after complete soft-tissue clubfoot release*. Clin Orthop, 1993. **24**(295): S. 252-8.
5. Atar, D., *et al.*, *Revision surgery in clubfeet*. Clin Orthop, 1992. **14**(283): S. 223-30.
6. Attenborough, C.G., *Early posterior soft-tissue release in severe congenital talipes equinovarus*. Clin Orthop, 1972. **84**(1): S. 71-8.
7. Bansal, V.S., J. Daniel, and J. Rai, *Radiological score in the assessment of clubfoot*. Int Orthop, 1988. **12**(3): S. 181-5.
8. Beatson, T.R. and J.R. Pearson, *A method of assessing correction in club feet*. J Bone Joint Surg Br, 1966. **48**(1): S. 40-50.
9. Beck, R.J., *et al.*, *Changes in the gait patterns of growing children*. J Bone Joint Surg Am, 1981. **63**(9): S. 1452-7.
10. Bensahel, H., A. Catterall, and A. Dimeglio, *Practical applications in idiopathic clubfoot: a retrospective multicentric study in EPOS*. J Pediatr Orthop, 1990. **10**(2): S. 186-8.
11. Bensahel, H., *et al.*, *Surgery in residual clubfoot: one-stage medioposterior release "a la carte"*. J Pediatr Orthop, 1987. **7**(2): S. 145-8.
12. Bensahel, H., Y. Degrippes, and C. Billot, *[Comments about 600 club feet (author's transl)]*. Chir Pediatr, 1980. **21**(5): S. 335-42.
13. Bensahel, H., A. Dimeglio, and S. Souchet, *Final evaluation of clubfoot*. J Pediatr Orthop B, 1995. **4**(2): S. 137-41.
14. Bensahel, H., S. Huguenin, and C. Themar-Noel, *The functional anatomy of clubfoot*. J Pediatr Orthop, 1983. **3**(2): S. 191-5.

15. Bjonness, T., *Congenital clubfoot. A follow-up of 95 persons treated in Sweden from 1940-1945 with special reference to their social adaption and subjective symptoms from the foot.* Acta Orthop Scand, 1975. **46**(5): S. 848-56.
16. Blakeslee, T.J. and S.J. DeValentine, *Management of the resistant idiopathic clubfoot: the Kaiser experience from 1980-1990.* J Foot Ankle Surg, 1995. **34**(2): S. 167-76.
17. Brand, R.A., et al., *The center of pressure path in treated clubfeet.* Clin Orthop, 1981. **14**(160): S. 43-7.
18. Catterall, A., *A method of assessment of the clubfoot deformity.* Clin Orthop, 1991. **76**(264): S. 48-53.
19. Centel, T., et al., *Comparison of the soft-tissue release methods in idiopathic clubfoot.* J Pediatr Orthop, 2000. **20**(5): S. 648-51.
20. Chang, Y.L., S.C. Huang, and T.K. Liu, *Surgical management of resistant idiopathic congenital clubfoot.* J Formos Med Assoc, 1991. **90**(12): S. 1186-93.
21. Cohen-Sobel, E., et al., *Long-term follow-up of clubfoot surgery: analysis of 44 patients.* J Foot Ankle Surg, 1993. **32**(4): S. 411-23.
22. Cooper, D.M. and F.R. Dietz, *Treatment of idiopathic clubfoot. A thirty-year follow-up note.* J Bone Joint Surg Am, 1995. **77**(10): S. 1477-89.
23. Cummings, R.J. and W.W. Lovell, *Operative treatment of congenital idiopathic club foot [see comments].* J Bone Joint Surg Am, 1988. **70**(7): S. 1108-12.
24. Debrunner, A.M., *Orthopädie, Orthopädische Chirurgie.* Vol. 3. Auflage. 1994: Verlag Hans Huber.
25. Dee, R., *Principles of orthopaedic practice.* 1988.
26. DePuy, J. and J.C. Drennan, *Correction of idiopathic clubfoot: a comparison of results of early versus delayed posteromedial release.* J Pediatr Orthop, 1989. **9**(1): S. 44-8.
27. Dietz, F.R., I.V. Ponseti, and J.A. Buckwalter, *Morphometric study of clubfoot tendon sheaths.* J Pediatr Orthop, 1983. **3**(3): S. 311-8.
28. Dimeglio, A., et al., *Classification of clubfoot.* J Pediatr Orthop B, 1995. **4**(2): S. 129-36.
29. Feldbrin, Z., et al., *Muscle imbalance in the aetiology of idiopathic club foot. An electromyographic study.* J Bone Joint Surg Br, 1995. **77**(4): S. 596-601.

30. Ghanem, I. and R. Seringe, [*Comparison of evaluation methods of the results of congenital clubfoot treatment*]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 1995. **81**(7): S. 615-21.
31. Grant, A.D. and D. Atar, *Highlights of talipes equinovarus deformity*. *Am J Orthop*, 1995. **24**(5): S. 393-9.
32. Harrold, A.J. and C.J. Walker, *Treatment and prognosis in congenital club foot*. *J Bone Joint Surg Br*, 1983. **65**(1): S. 8-11.
33. Hee, H.T., E.H. Lee, and G.S. Lee, *Gait and pedobarographic patterns of surgically treated clubfeet*. *J Foot Ankle Surg*, 2001. **40**(5): S. 287-94.
34. Hefti, F., *Kinderorthopädie in der Praxis*. 1997: Springer-Verlag.
35. Herbsthofer, B., *et al.*, *Significance of radiographic angle measurements in evaluation of congenital clubfoot*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1998. **117**(6-7): S. 324-9.
36. Hippokrates, *De articulis*. *Geschichte der Orthopädie*, ed. B. Valentin. 1961, Stuttgart: Thieme-Verlag.
37. Hughes, J., *et al.*, *Reliability of pressure measurements: the EMED F system*. *Clin Biomech*, 1991. **6**: S. 14-18.
38. Huguenin, S., C. Themar-Noel, and H. Bensahel, *Etude de l'appui plantaire chez l'enfant par photo-élastométrie*. *Revue de Chirurgie Orthopedique*, 1981. **67**: S. 765-770.
39. Hutchins, S.M., *et al.*, *Long-term results of early surgical release in club feet*. *J Bone Joint Surg Br*, 1985. **67**(5): S. 791-9.
40. Ikeda, K., *Conservative treatment of idiopathic clubfoot*. *J Pediatr Orthop*, 1992. **12**(2): S. 217-23.
41. Imhauser, G., *Follow-up examinations: 30 years of Imhauser clubfoot treatment*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1980. **96**(4): S. 259-70.
42. Imhäuser, G., *Die Behandlung des idiopathischen Klumpfußes*. 1984, Stuttgart: Enke-Verlag.
43. Ippolito, E. and I.V. Ponseti, *Congenital club foot in the human fetus. A histological study*. *J Bone Joint Surg Am*, 1980. **62**(1): S. 8-22.
44. Jain, A.K., *et al.*, *Evaluation of foot bimalleolar angle in the management of congenital talipes equinovarus*. *J Pediatr Orthop*, 2001. **21**(1): S. 55-9.

45. Joseph, B., M. Bhatia, and N.S. Nair, *Talo-calcaneal relationship in clubfoot*. J Pediatr Orthop, 2001. **21**(1): S. 60-4.
46. Kumar, S.N., S.W. Laing, and L. Klenerman, *Medial calcaneal osteotomy for relapsed equinovarus deformity. Long-term study of the results of Frederick Dwyer*. J Bone Joint Surg Br, 1993. **75**(6): S. 967-71.
47. Kuo, K.N. and L.D. Jansen, *Rotatory dorsal subluxation of the navicular: a complication of clubfoot surgery*. J Pediatr Orthop, 1998. **18**(6): S. 770-4.
48. Laaveg, S.J. and I.V. Ponseti, *Long-term results of treatment of congenital club foot*. J Bone Joint Surg Am, 1980. **62**(1): S. 23-31.
49. Lowe, L.W. and M.A. Hannon, *Residual adduction of the forefoot in treated congenital club foot*. J Bone Joint Surg Br, 1973. **55**(4): S. 809-13.
50. Macnicol, M.F., R.D. Nadeem, and M. Forness, *Functional results of surgical treatment in congenital talipes equinovarus (clubfoot): a comparison of outcome measurements*. J Pediatr Orthop B, 2000. **9**(4): S. 285-92.
51. Maffulli, N., *et al.*, *Assessment of late results of surgery in talipes equino-varus: a reliability study*. Eur J Pediatr, 1997. **156**(4): S. 317-9.
52. Magone, J.B., *et al.*, *Comparative review of surgical treatment of the idiopathic clubfoot by three different procedures at Columbus Children's Hospital*. J Pediatr Orthop, 1989. **9**(1): S. 49-58.
53. Main, B.J. and R.J. Crider, *An analysis of residual deformity in club feet submitted to early operation*. J Bone Joint Surg Br, 1978. **60-B**(4): S. 536-43.
54. Main, B.J., *et al.*, *The results of early operation in talipes quino-varus. A preliminary report*. J Bone Joint Surg Br, 1977. **59**(3): S. 337-41.
55. McKay, D.W., *New concept of and approach to clubfoot treatment: section I- principles and morbid anatomy*. J Pediatr Orthop, 1982. **2**(4): S. 347-56.
56. McKay, D.W., *New concept of and approach to clubfoot treatment: section II-- correction of the clubfoot*. J Pediatr Orthop, 1983. **3**(1): S. 10-21.
57. McKay, D.W., *New concept of and approach to clubfoot treatment: Section III-- evaluation and results*. J Pediatr Orthop, 1983. **3**(2): S. 141-8.
58. Mittlmeier, T. and M. Morlock, *Statische und dynamische Belastungsmessungen am posttraumatischen Fuß*. Orthopade, 1991. **20**: S. 22-32.

-
59. Moulin, S. and F. Hefti, *[Long-term results in the treatment of clubfoot]*. Orthopade, 1986. **15**(3): S. 184-90.
 60. Otis, J.C. and W.H. Bohne, *Gait analysis in surgically treated clubfoot*. J Pediatr Orthop, 1986. **6**(2): S. 162-4.
 61. Otremski, I., *et al.*, *An analysis of the results of a modified one-stage posteromedial release (Turco operation) for the treatment of clubfoot*. J Pediatr Orthop, 1987. **7**(2): S. 149-51.
 62. Otremski, I., *et al.*, *Residual adduction of the forefoot. A review of the Turco procedure for congenital club foot*. J Bone Joint Surg Br, 1987. **69**(5): S. 832-4.
 63. Parsch, K., *[Primary treatment of clubfoot]*. Orthopade, 1999. **28**(2): S. 100-9.
 64. Pisani, G., *Fußchirurgie*. 1998, Stuttgart, New York: Thieme- Verlag.
 65. Ponseti, *Congenital Club Foot: The Results of Treatment*. J. Bone and Joint Surgery, 1963. **45-A**: S. 261-275.
 66. Ponseti, I.V., *Treatment of congenital club foot*. J Bone Joint Surg Am, 1992. **74**(3): S. 448-54.
 67. Ponseti, I.V., *Clubfoot management*. J Pediatr Orthop, 2000. **20**(6): S. 699-700.
 68. Ponseti, I.V., *et al.*, *A radiographic study of skeletal deformities in treated clubfeet*. Clin Orthop, 1981. **5**(160): S. 30-42.
 69. Porat, S., C. Milgrom, and G. Bentley, *The history of treatment of congenital clubfoot at the Royal Liverpool Children's Hospital: improvement of results by early extensive posteromedial release*. J Pediatr Orthop, 1984. **4**(3): S. 331-8.
 70. Porter, R.W., A. Roy, and J. Rippstein, *Assessment in congenital talipes equinovarus*. Foot Ankle, 1990. **11**(1): S. 16-21.
 71. Raab, S. *Bewertungsanalyse der operativen Therapie kongenitaler Klumpfüße mittels peritalarer Arthrolyse*. 1999.
 72. Roye, B.D., *et al.*, *Patient-based outcomes after clubfoot surgery*. J Pediatr Orthop, 2001. **21**(1): S. 42-9.
 73. Rumyantsev, N.J. and V.E. Ezrohi, *Complete subtalar release in resistant clubfeet: a critical analysis of results in 146 cases*. J Pediatr Orthop, 1997. **17**(4): S. 490-5.
 74. Schlafly, B., *et al.*, *The appearance of the tarsal navicular after posteromedial release for clubfoot*. Foot Ankle, 1985. **5**(5): S. 222-37.

-
75. Simons, G.W., *Analytical radiography of club feet*. J Bone Joint Surg Br, 1977. **59-B**(4): S. 485-9.
 76. Simons, G.W., *Analytical Radiography and the progressive approach in Talipes Equinovarus*. Orthopedic Clinics of North America, 1978. **9**, No 1: S. 187-206.
 77. Simons, G.W., *A standardized method for the radiographic evaluation of clubfeet*. Clin Orthop, 1978. **137**(135): S. 107-18.
 78. Simons, G.W., *Complete subtalar release in club feet. Part I--A preliminary report*. J Bone Joint Surg Am, 1985. **67**(7): S. 1044-55.
 79. Simons, G.W., *Complete subtalar release in club feet. Part II--Comparison with less extensive procedures*. J Bone Joint Surg Am, 1985. **67**(7): S. 1056-65.
 80. Stark, J.G., J.E. Johanson, and R.B. Winter, *The Heyman-Herndon tarsometatarsal capsulotomy for metatarsus adductus: results in 48 feet*. J Pediatr Orthop, 1987. **7**(3): S. 305-10.
 81. Tarraf, Y.N. and N.C. Carroll, *Analysis of the components of residual deformity in clubfeet presenting for reoperation*. J Pediatr Orthop, 1992. **12**(2): S. 207-16.
 82. Turco, V.J., *Surgical correction of the resistant club foot. One-stage posteromedial release with internal fixation: a preliminary report*. J Bone Joint Surg Am, 1971. **53**(3): S. 477-97.
 83. Turco, V.J., *Resistant congenital club foot--one-stage posteromedial release with internal fixation. A follow-up report of a fifteen-year experience*. J Bone Joint Surg Am, 1979. **61**(6A): S. 805-14.
 84. Uglow, M.G., *The Functional Outcome of Staged Surgery for the Correction of Talipes Equinovarus*. J. Pediatric Orthopaedics, 2000. **20**: S. 517-523.
 85. Widhe, T. and L. Berggren, *Gait analysis and dynamic foot pressure in the assessment of treated clubfoot*. Foot Ankle Int, 1994. **15**(4): S. 186-90.
 86. Wynne-Davies, R., *Talipes Equinovarus- A Review of Eighty-four Cases after Completion of Treatment*. J. Bone and Joint Surgery, 1964. **46B**: S. 464-476.
 87. Yamamoto, H. and K. Furuya, *One-stage posteromedial release of congenital clubfoot*. J Pediatr Orthop, 1988. **8**(5): S. 590-5.
 88. Yamamoto, H. and K. Furuya, *Treatment of congenital club foot with a modified Denis Browne splint*. J Bone Joint Surg Br, 1990. **72**(3): S. 460-3.

-
89. Yamamoto, H., *et al.*, *Posteromedial release of congenital club foot in children over five years of age*. *J Bone Joint Surg Br*, 1994. **76**(4): S. 555-8.
 90. Yamamoto, H., T. Muneta, and S. Morita, *Nonsurgical treatment of congenital clubfoot with manipulation, cast, and modified Denis Browne splint*. *J Pediatr Orthop*, 1998. **18**(4): S. 538-42.
 91. Yngve, D.A., R.H. Groß, and J.A. Sullivan, *Clubfoot release without wide subtalar release*. *J Pediatr Orthop*, 1990. **10**(4): S. 473-6.

8. Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt meinen Eltern, die es mir erst ermöglicht haben, dieses Studium aufzunehmen und zu Ende zu führen und die mir in schwierigen Situationen immer hilfreich zur Seite standen.

Ein großes Dankeschön an meine beiden Betreuer dieser Arbeit, PD Dr. Dieter Rosenbaum und Dr. Stefan Linnenbecker. Durch ihre nie aufhören wollende Bereitschaft zur Hilfe, Kritik und durch ihre Ermunterungen wurde die Arbeit immer wieder vorangetrieben und verbessert.

Bedanken möchte ich mich bei Ludwig Siebers, der mir beim Schreiben der Arbeit mit Rat und Tat zur Seite stand und durch dessen „Computerunterstützung“ es mir ermöglicht wurde, diese Arbeit so schnell fertig zu stellen.

Auch möchte ich meiner Schwester Stefanie danken, da sie mich über all die Jahre unterstützt hat und mir eine treue Korrekturleserin war.

Vielen Dank!

9. Lebenslauf

Name	Christiane Schinkhof
Adresse	Milanweg 3c, 44229 Dortmund
Geburtsdatum	11. Mai 1977
Geburtsort	Dortmund
Eltern	Hans - Peter Schinkhof Gudrun Schinkhof, geb. Bischoff
Schulbildung	1983-1987 Olpketal-Grundschule, Dortmund 1987-1996 Mallinckrodt-Gymnasium, Dortmund
Studium	seit 1996 Humanmedizin an der WWU Münster seit 1999 Zweitstudium: Magisterstudiengang Sportwissenschaften und englische Philologie 8/1998 Physikum 8/1999 erstes Staatsexamen 8/2001 zweites Staatsexamen 11/2002 drittes Staatsexamen
Datum der Approbation	5. November 2002