

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universität zu Köln

Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

**Ganganalytische Ergebnisse
nach Klumpfuß-Operation bei Kindern**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von

Kirstin Kaiser geb. Wanik
aus Bonn

Promoviert am 14.Juli 2010

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. J. Klosterkötter

1. Berichterstatter: Professor Dr. med. J. Rütt

2. Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. med. D. Michalk

Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Privatdozent Dr. med. Joern Michael

Dipl. Sportwiss. Andrea Franz

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorliegenden Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Köln, den 14. Juli 2010

.....
(K. Kaiser)

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Messergebnisse der Kinder mit Klumpfuß wurden mit meiner Mitarbeit im Institut für Biomechanik der Sporthochschule Köln ermittelt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Messergebnisse des Kontrollkollektivs wurden ohne meine Mitarbeit im Institut für Biomechanik der Sporthochschule Köln ermittelt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen im Institut für Biomechanik wurden nach entsprechender Anleitung gemeinsam mit Frau Dipl. Sportwiss. Andrea Franz durchgeführt worden.

Die Krankengeschichte wurde von mir selbst ausgewertet. Die Nachuntersuchungen wurden gemeinsam mit Herrn Privatdozenten Dr. med. J. Michael durchgeführt.

Die Beurteilung der erhobenen klinischen sowie pedographischen und ganganalytischen Befunde wurde nach entsprechender Anleitung durch Herrn Privatdozenten Dr. med. J. Michael und Frau Dipl. Sportwiss. Andrea Franz von mir selbst vorgenommen.

Die Befragung der Eltern und Patienten erfolgte ausschließlich durch mich.

Mein besonderer Dank gilt

Herrn Professor Dr. med. J. Rütt für die Überlassung des Themas der vorliegenden Arbeit,

Herrn Privatdozenten Dr. med. J. Michael und Frau A. Franz für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen sowie für die hilfreichen Anregungen und Ratschläge bei der Abfassung der Arbeit.

Für meine Eltern, die mir ermöglichten meinen Weg zu gehen.

Für Jens, der mich mit seiner hartnäckigen Art bis zuletzt angehalten hat diese Arbeit doch endlich zu Papier zu bringen.

Für Joris und Katharina, die uns jeden Tag zum Lachen bringen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	9
1.1. Theoretische Grundlagen	9
1.1.1. Das Krankheitsbild „Idiopathischer Klumpfuß“	9
1.1.2. Ätiologie und Pathogenese	11
1.1.3. Pathologische Anatomie	13
1.1.4. Klumpfußbehandlung	20
1.2. Behandlungsprinzip nach Imhäuser	23
1.2.1. Gedeckte Reposition	24
1.2.2. Fixierungsbehandlung mit Gipsverbänden	25
1.2.3. Operative Spitzfußbeseitigung (Rückfußentwicklung)	26
1.2.4. Übungsbehandlung der formsichernden Muskulatur	27
1.2.5. Nachbehandlung und Nachsorge	28
1.3. Ganganalyse und Pedographie	28
1.3.1. Geschichte der Ganganalyse und Pedographie	30
1.3.2. Einsatzbereiche der Ganganalyse und Pedographie	33
2. Ziel der Arbeit	36
3. Material und Methoden	37
3.1. Untersuchungskollektiv	37
3.1.1. Patientenauswahl	37
3.1.2. Seiten- und Geschlechterverteilung	37
3.1.3. Alter zum Zeitpunkt der OP und Nachuntersuchung	38
3.2. Kontrollkollektiv	39

3.3. Untersuchungsmethoden	40
3.3.1. Klinische und subjektive Beurteilung	40
3.3.2. Druckverteilung	43
3.3.2.1. Messanlage	43
3.3.2.2. Durchführung der Messung	45
3.3.2.3. Auswertungsparameter	46
3.3.3. Ganganalyse	50
3.3.3.1. Messanlage	50
3.3.3.2. Durchführung der Messung	51
3.3.3.3. Auswertungsparameter	55
3.4. Statistik	58
4. Ergebnisse	59
4.1. Subjektive Beurteilung und klinische Untersuchung	59
4.1.1. Subjektive Beurteilung	59
4.1.2. Klinische Beurteilung nach Magone	61
4.2. Pedobarographie	67
4.2.1. Kontaktfläche Fußsohle	67
4.2.2. Maximaldruckverteilung Fußsohle	70
4.2.3. Maximalkraftverteilung Fußsohle	72
4.2.4. Vorfußbelastung vs. Rückfußbelastung	74
4.2.5. Mittelfußbelastung medial vs. Lateral	81
4.3. Ganganalyse	88
4.3.1. Fußgelenk in der Sagittalebene	88
4.3.2. Kniegelenk in der Sagittalebene	90
4.3.3. Hüftgelenk in der Sagittalebene	92
5. Kasuistik	94
5.1. Fallbeispiel 1 (ID 16)	94

5.2. Fallbeispiel 2 (ID 11)	102
6. Diskussion	109
7. Zusammenfassung	119
8. Literaturverzeichnis	121
9. Anhang	131

1. Einleitung

Das Behandlungsergebnis einer Klumpfußdeformität ist nicht nur nach anatomischen und kosmetischen Aspekten zu beurteilen. Viel entscheidender in Hinsicht auf die Lebensqualität sind die erlangte Beschwerdefreiheit sowie die normale Funktion des Gehapparates.

Die Wirksamkeit der in Art und Umfang je nach Lehrmeinung sehr unterschiedlichen Therapie der Klumpfußdeformität wurde bisher weitgehend anhand von statistischen Parametern wie klinischen Untersuchungsmethoden und Messungen von Röntgenwinkeln beurteilt.

Die Verwendung dynamischer Untersuchungsmethoden ermöglicht zusätzlich eine objektive Bewertung des Therapieerfolgs der im Säuglingsalter behandelten Klumpfüße, da sie Vergleichs- und Basisdaten liefert, die zur Etablierung therapeutischer Verfahren notwendig sind.

1.1. Theoretische Grundlagen

1.1.1. Das Krankheitsbild „Idiopathischer Klumpfuß“

Der Klumpfuß ist seit über 3000 Jahren bekannt. Besonders ausführlich haben sich die Hippokratiker mit diesem Krankheitsbild beschäftigt.

„Bei keinem anderen Krankheitsbild sind die Meinungen über die Entstehung und die optimale Behandlung so unterschiedlich wie beim Klumpfuß" [48].

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der häufigsten Form des Klumpfußes, dem „idiopathischen“ Klumpfuß, der auch als „muskulärer“ Klumpfuß bezeichnet wird. Im Gegensatz zum teratologischen oder Lähmungsklumpfuß ist die Muskulatur zwar quantitativ, aber nicht qualitativ gestört, und es fehlen Störungen an den knorpelig-knöchernen Elementen.

Im Gegensatz zum idiopathischen Klumpfuß, dessen Ursache nach wie vor unbekannt ist, können Fehlbildungsklumpfüße, die ebenfalls zu den angeborenen Klumpfüßen zählen, im Rahmen verschiedener Syndrome vorkommen, z. B. dem Pierre-Robin-Syndrom, oder durch Stoffwechselerkrankungen sowie exogene Noxen hervorgerufen werden [24].

Des Weiteren unterscheidet man den sekundären, erworbenen Klumpfuß, dessen Ursachen vielfältig sind. Dazu zählen: neuromuskuläre, posttraumatische, statische, traumatische, rheumatische, syphilitische, ischämische, myogene, neurogene und arthrogene Klumpfüße.

Zu den neuromuskulären Ursachen zählen Erkrankungen mit erhöhtem Muskeltonus, wie z. B. MS oder SHT, Erkrankungen mit erniedrigtem Muskeltonus, wie z. B. Polio und AMC sowie Verletzungen peripherer Nerven, wie z. B. des N. peroneus.

Posttraumatische Klumpfußdeformitäten treten nach Kompartmentsyndrom, knöchernen Verletzungen, Sehnenverletzungen und Verbrennungskontrakturen der Haut auf.

Weitere Ursachen der sekundären Klumpfußentstehung zeigen sich im Rahmen der diabetischen Osteoarthropathie mit Zerstörung des Rückfußes, bei Knochenstoffwechselstörungen, wie z. B. Rachitis, bei angeborenen Fehlbildungen, wie z. B. Tibiaplasie und Neurofibromatose, bei psychiatrischen Erkrankungen oder iatrogen nach Chopart-Amputation oder überkorrigiertem Knickfuß [24].

Von dem angeborenen und dem sekundär erworbenen Klumpfuß ist die Klumpfußhaltung zu unterscheiden. Hierbei ist der Fuß bereits nach der Geburt wesentlich flexibler als ein richtiger Klumpfuß und damit aktiv und passiv leicht korrigierbar. Der Spitzfuß ist nur gering ausgebildet, und es bestehen keine Fehlstellungen im Rückfußbereich. Des Weiteren verursacht eine Klumpfußhaltung quere Hautfalten am Fußrücken. In der Regel ist eine konservative (nicht-operative) Therapie in den ersten Lebenswochen ausreichend.

Der angeborene Klumpfuß ist mit einer Inzidenz von 1-2 auf 1000 Lebendgeborene die häufigste Extremitätenmissbildung der weißen Bevölkerung. Im Gegensatz dazu weisen die orientalischen Völker mit 0,57/ 1000 Geburten eine weitaus niedrigere, die Polynesier mit 6,81/ 1000 Geburten eine weitaus höhere Inzidenz auf [95]. Es liegt eine nahezu konstante Geschlechterverteilung von zwei Jungen zu einem Mädchen sowie

eine familiäre Häufigkeit in 15% der Fälle vor [19]. Bei ungefähr der Hälfte der Fälle tritt die Deformität beidseitig auf [24]. Wird eine konsequente und intensive Therapie nicht rechtzeitig in die Wege geleitet, führt die unphysiologische Belastung des Fußgelenkes frühzeitig zu Verschleißerscheinungen und hat eine verminderte Lebensqualität des Patienten zur Folge. Laut Imhäuser, dessen Studien über dieses Krankheitsbild 40 Jahre dauerten, ist der idiopathische Klumpfuß heilbar. Imhäuser verweist aber auch darauf, dass die Mitarbeit der Eltern und regelmäßige Kontrollen durch einen Facharzt während des Wachstumsalters entscheidend für die Erzielung guter Resultate sind [48].

1.1.2. Ätiologie und Pathogenese

Bis heute ist die eigentliche Ursache eines idiopathischen Klumpfußes nicht nachgewiesen worden. „Die sich gegenseitig verdrängenden und ausschließenden Hypothesen“ zur Ätiologie des idiopathischen Klumpfußes unterstreichen laut Debrunner „unsere Unwissenheit“ auf diesem Gebiet [19]. Imhäuser vertritt die Meinung, dass „die gleiche pathogenetische Entwicklung vermutet werden“ kann, da die Klumpfüße des Neugeborenen „immer die gleiche Form, fast immer die gleiche Ausprägung, jedoch eine wechselnde Härte der Deformität“ zeigen [48].

Die wichtigsten Theorien lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen. Auf der einen Seite werden exogen induzierte Missbildungsursachen verantwortlich gemacht, auf der anderen Seite sieht man in einer endogen-erblichen Dysplasie die Ursache für die Entstehung des Klumpfußes [5].

Die zu den exogenen Einflüssen zählende alte, bereits von Hippokrates aufgestellte Hypothese vom Oligohydramnion [56; 91], „das durch Kompression von außen die Füße des Feten in Equinovarusstellung zwingt, ist weitgehend verlassen worden“, da im Rahmen der Pränataldiagnostik der Nachweis erbracht werden konnte, „dass Feten ab der 14. Schwangerschaftswoche Klumpfüße in einer mit ausreichend Fruchtwasser gefüllten Amnionhöhle entwickelten“ [24]. Neben dieser Raummangel- und

Drucktheorie wird die von Böhm 1929 aufgestellte Hypothese der Hemmungsmaßbildung, der ein „passagerer Wachstumsstillstand des Fußwurzelkomplexes in einer klumpfußartigen Embryonalstellung“ zugrunde liegt, diskutiert [24; 56]. Diese Theorie gilt jedoch als weitgehend unwahrscheinlich, da sich „die Ähnlichkeiten eines Klumpfußes mit gewissen Durchgangsformen des embryonalen Fußes“ laut Debrunner nur „auf verstecktere Einzelheiten beziehen,..... einer exakteren Prüfung gegenüber verlieren sie an tatsächlichem Wert und behalten höchstensfalls Symbolkraft“ [19]. Des Weiteren werden Temperatureinflüsse, Lebensmitteltoxine und Virusinfektionen, beispielsweise mit Enteroviren, während der kritischen Zeit der Embryogenese als exogene Ursachen für die Entwicklung eines Klumpfußes in Betracht gezogen [24; 78]. Für die Theorie des hereditären, endogenen Klumpfußes spricht eine nahezu konstante Geschlechterverteilung von zwei Jungen zu einem Mädchen [19]. Da ein eindeutiger Mendelscher Erbgang nicht nachgewiesen werden konnte, nimmt man an, dass dem primären Klumpfuß ein multifaktorieller Erbgang mit Haupteinfluß eines dominanten Gens oder eines unbekanntem uterinen Faktors zugrunde liegt [24; 95]. Die Gruppe um Scarpa (1800) und Adams (1860) vertritt die Meinung, dass alle Weichteilveränderungen sekundärer Natur sind, d.h. erst aufgrund der Knochenveränderungen entstehen. Bei dieser Theorie herrscht jedoch Uneinigkeit darüber, ob die Ursache für die Mißbildungen des Talus und Calcaneus, wie es von Böhm (1935) angenommen wurde, in einer Entwicklungshemmung zu suchen ist oder ob es sich, wie 1963 von Irani und Sherman veröffentlicht, um eine primäre Dysplasie handelt, die in den Knorpelanlagen, d.h. in einem Keimplasmadefekt, manifest ist [50]. Demgegenüber ist die Gruppe um Fukuhara der Ansicht, dass die knöchernerne Deformität sekundär aufgrund einer Weichteilkontraktur im medialen Fußwurzelbereich entsteht. Diese kontrakte fibröse Masse wird ätiologisch zwar verschieden gedeutet, bezieht aber immer Bänder, Gelenkkapseln und Muskeln mit ein und zwingt den Fuß in eine pathologische Supinations- und Inversionsstellung [32]. So hielten beispielsweise Zimny et al. nach elektronenmikroskopischen Untersuchungen einen genetisch bedingten Defekt im Sinne einer Fibromatose, für verantwortlich für eine durch Myofibroblasten verursachte Weichteilkontraktur, die die Knochen der Fußwurzeln sekundär deformiert [24; 96]. Auch Ippolito et al. sehen eine retrahierende Fibrose im posteromedialen Fußbereich als primär ätiologischen Faktor für die Klumpfußentstehung. Sie fanden neben einer Abnahme der Muskelfasergröße und –anzahl eine Zunahme von fibrösem Bindegewebe in Muskeln und Sehnenscheiden

sowie eine Verdickung von Sehnen und Bändern [49]. Andere Studien kommen zu dem Schluß, dass ein neuromuskuläres Leiden die Ursache für die Weichteilkontraktur im medialen Fußwurzelbereich ist. Diese Theorie wird durch Isaacs et al. gestützt, die in der Klumpfußbildung eine lokalisierte Form der Arthrogyrosis multiplex congenita (AMC) sehen. Die AMC wird durch intrauterine Läsionen, z.B. Virusinfektionen verursacht, die eine Zerstörung von Motoneuronen im Rückenmark und eine verminderte Extremitätenentwicklung zur Folge haben. Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Muskulatur zeigten Zeichen einer frühen Denervierung der Waden- und Peronäalmuskulatur, Fasergrößenunterschiede in der Muskulatur der Musculi tibialis posterior und triceps surae sowie eine Zunahme von Typ I Fasern [51]. Nach elektrophysiologischen Untersuchungen kommen Feldbrin et al. zu der Annahme, dass eine gestörte Innervierung der Klumpfußentstehung zugrunde liegt [30]. Handelsman und Badalamente machen aufgrund neuromuskulärer Studien ein früh im fetalen Leben einsetzendes Muskelungleichgewicht für die Klumpfußbildung verantwortlich. Das Überwiegen der Muskelkräfte von Supinatoren (Musculi tibialis posterior et anterior) und Flexoren (Musculus triceps surae und Zehenflexoren) führt intrauterin und postnatal zu einer Deformierung vom Talus und anderen Knochen, deren knorpelige Matritzen leicht verformbar sind [36].

Man ist sich heute angesichts dieser zahlreichen Theorien lediglich darüber einig, dass ätiologisch kein einzelner Faktor für die Klumpfußbildung verantwortlich gemacht werden kann. Vielmehr muss es sich um ein multifaktorielles Geschehen handeln, in dem sowohl genetische als auch exogen-mechanische Einflüsse eine Rolle spielen [91; 95].

1.1.3. Pathologische Anatomie

Die Grundlage zum Verständnis der orthopädischen Korrekturbehandlung des primären Klumpfußes ist die Kenntnis der zugrunde liegenden Gelenkveränderungen, knöchernen Deformierungen und pathologischen Weichteilveränderungen.

Der idiopathische Klumpfuß des Neugeborenen, auch Talipes equinovarus (adductus-excavatus-supinatus) genannt, setzt sich immer aus folgenden Teilkomponenten zusammen [48]:

- Adduktion des Vorfußes
- Supinatorische Aufdrehung des Vorfußes
- Varusstellung der Ferse
- Verkürzung der Achillessehne (Spitzfußstellung)
- Hohlfuß



(a)



(b)

Abbildung 1.1: Kongenitaler beidseitiger Klumpfuß

a) typische Fehlstellung von ventral;

b) dorsaler Aspekt mit Adduktion, subtalare Innenrotation und Supination

Aufgrund seines charakteristischen äußerlichen Erscheinungsbildes ist der Klumpfuß postpartal nicht zu übersehen. Das Ausmaß der Beweglichkeit ist im Vergleich zum normalen Fuß beschränkt. Der M. triceps surae ist bei fixierter Plantarflexion des Gesamtfußes kontrakt und somit für die Spitzfußstellung verantwortlich. Die verkürzte Achillessehne tastet man als relativ derben Strang. Das Tuber calcanei ist hochstehend und palpatorisch nur schwer nachweisbar, da es im Fettpolster der Ferse verschwindet. An der Fußinnenseite findet man durch die Supination bedingt quer verlaufende Hautfalten. Zusätzlich weisen die Kinder die typischen Klumpfußwade auf, die durch eine Atrophie des M. triceps surae und die nach proximal verschobenen Bäuchen des M. gastrocnemius gekennzeichnet ist [19; 85].

Dem idiopathischen Klumpfuß liegen zunächst keine oder nur geringe Fehlformen der einzelnen Fußknochen zugrunde. Viel entscheidender ist bei dieser Form des Klumpfußes, „dass die Gelenkkörper der einzelnen Gelenke gegeneinander in mehr oder weniger starker Fehlposition stehen“ [48]. Entgegen der Ansicht der Hippokratiker handelt es sich nicht um Luxationen oder Subluxationen der Gelenke, sondern um extreme Abweichungen im Rahmen der normalen Gelenkexkursionen. Im Rahmen pathologisch-anatomischer Klumpfußstudien wurden die im Folgenden dargestellten Veränderungen an Gelenken, Knochen und Weichteilen gefunden.

Gelenkveränderungen:

- *Oberes Sprunggelenk:* Aufgrund der Equinuskomponente, die durch die Triceps-surae-Kontraktur unterhalten wird, disloziert der Talus nach ventral und ist maximal plantarflektiert. Folglich artikuliert nur die verschmälerte dorsale Hälfte der Talusrolle mit der Knöchelgabel [5; 24; 38]. Zusätzlich besteht beim primären Klumpfuß eine vermehrte Außentorsion der Knöchelgabel. Dies hat zur Folge, dass der Innenknöchel nach ventral und der Außenknöchel fast nach dorsal gerichtet ist [24; 48].

- *Talocalcanealgelenk:* Der Calcaneus ist unter den Talus supiniert. Das Tuber calcanei nähert sich dorsolateral der Fibula so weit an, dass es im Extremfall zur Gelenkneubildung zwischen Außenknöchelspitze und Calcaneus kommen kann [24]. Folge dieser subtalaren Calcaneusverkipfung ist die Abweichung der Ferse in

Varusstellung, die letztlich dafür verantwortlich ist, dass die Längsachsen von Talus und Calcaneus parallel verlaufen anstatt im distal offenen Winkel zueinander [38; 47;48]. Des Weiteren ist das Acetabulum pedis, auch als Articulatio talocalcaneonavicularis bezeichnet, entscheidend an der Pathomechanik des Klumpfußes beteiligt. Im Gegensatz zum Normalfuß berührt die mittlere Calcaneusgelenkfläche beim Klumpfuß das Os naviculare. Folglich bildet das Ligamentum calcaneonaviculare plantare nicht mehr den Boden des Gelenks, sondern ist vielmehr retrahiert oder nicht mehr vorhanden. Diese Retraktion des calcaneonavicularen Bandkomplexes trägt wesentlich zur medioplantaren Verschiebung des Os naviculare um den Taluskopf herum bei [24; 28; 29].

- *Talonaviculargelenk*: Das Os naviculare ist um den Taluskopf herum nach mediopantar verlagert und ist somit maßgeblich für die äußerlich sichtbare Form, d.h. die Verkürzung des Innenfußes sowie die plantar-konvexe Verformung des Fußes verantwortlich. In Folge dieser Zwangsbewegung, an der sich auch die anderen Fußgelenke beteiligen, bilden sich die Supination des Mittelfußes sowie die Vorfußadduktion, die letztlich zur Varusstellung der Ferse führt, aus [46]. Aufgrund dieser Tatsache ist das Talonaviculargelenk das Schlüsselgelenk der Klumpfußdeformität, in dem sich „das Spätschicksal des Fußes“ entscheidet [48]. Nur in den von hyalinem Knorpel bedeckten Gelenkflächen des Os naviculare findet nach Untersuchungen von McKay Längenwachstum statt, so dass sich Talushals und –kopf zunehmend in medioplantare Richtung ausrichten. Folge dieser Annäherung des Os naviculare an den Malleolus medialis kann die Ausbildung einer Nearthrose auf der medialen Seite des Fußes sein [24; 68].

- *Calcaneocuboidgelenk*: Das Os cuboideum ist vor dem Calcaneus nach mediopantar verlagert und unter die Ossa naviculare und cuneiformia verschoben [24]. Zusätzlich hat es eine Drehung um seine Längsachse gemacht, so dass seine dorsale Fläche nach außen gedrängt und zur lateralen Fläche wird [19]. Durch diese Verschiebung erscheint der Außenfuß plantar konvex und ist im Vergleich zum Innenfuß relativ zu lang.

- *Gelenke des Mittel- und Vorfußes*: Bedingt durch die Fehlstellung der rückwärtigen Verbindungen nehmen die Gelenke von Mittel- und Vorfuß eine Adduktionsstellung ein [19].

Ossäre Veränderungen:

- *Talus*: Der Taluskörper ist abgeflacht, die Talusrolle dorsal verschmälert und der Talushals, der mit dem verformten Taluskopf nach medial und plantar zeigt, verkürzt [19; 38]. Der Corpus-Collum-Winkel verkleinert sich dadurch auf 115° - 135° gegenüber 150° - 155° beim Normalfuß [50].

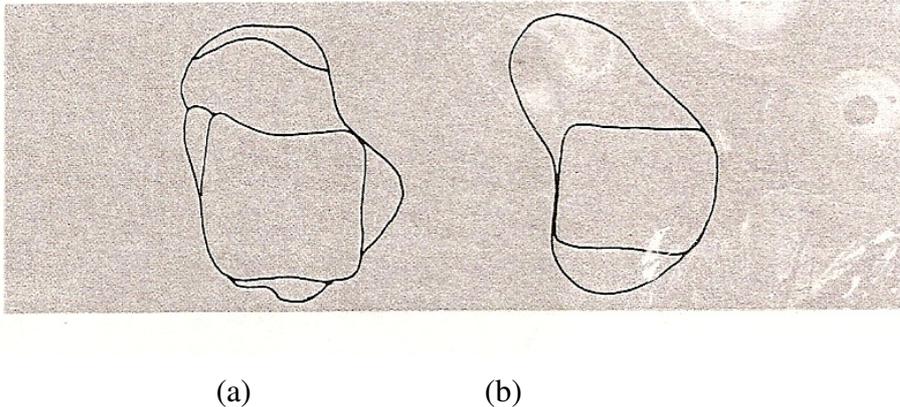


Abbildung 1.2: a) normaler Talus;

b) knöcherner Deformierung des Talus beim Klumpfuß

„Der Talus ist der Schlüssel zur Deformität, die anderen Fußwurzelknochen folgen der Fehlstellung des Talus“.

[entnommen aus F. Grill, „Der Klumpfuß“, (1996), 364-378]

Die Facies articularis medialis der Trochlea tali ist verkleinert und nach hinten verlagert. Demgegenüber ist die laterale Facette nach vorne verschoben und bis in die Halspartie verlängert [19]. Die Trochlea selbst ist nur in der hinteren Hälfte als Gelenkfläche ausgebildet und normal gerundet. Im vorderen Bereich ist sie zwar wesentlich breiter als hinten, jedoch fibrosiert und abgeflacht [83].

- *Calcaneus*: Der Calcaneus ist im Allgemeinen weniger stark deformiert als der Talus [50]. Er ist verplumpt, das Tuber calcanei und der Processus anterior sind verkürzt [38]. Des Weiteren ist, neben der Verkleinerung des Calcaneus um $\frac{1}{4}$ gegenüber der Norm, das Sustentaculum tali verformt und oft nur rudimentär angelegt. Der Processus anterior

hingegen weist eine überproportionale Höhe auf. Ebenso pathologisch auffällig sind die Gelenkflächen des Calcaneus, die entweder wie die oberen nur gering ausgebildet oder wie die Facies articularis talaris posterior calcanei nach medial orientiert sind [24; 50; 83].

- *Andere Knochendeformitäten:* Das Os cuboideum ist abgeflacht und dreieckig.

Ebenso ist das zu einem Keil mit medialer Basis deformierte Os naviculare abgeplattet.

Die Ossa cuneiformia weisen statt senkrechter schräg verlaufende hintere Gelenkflächen auf. Die Knochen des Vor- und Mittelfußes folgen der durch die rückwärtigen Verbindungen vorgeschriebenen Richtung, wobei die Verlängerung des 5. Mittelfußstrahls und die vermehrte Adduktionsstellung des 1. Zehenstrahls besonders auffällig sind [19; 24].

Weichteilveränderungen:

Entsprechend der anatomischen Form sind die Weichteile der Fußinnenseite, deren Knochenansatzstellen dauernd genähert sind, verkürzt und straff. Die Strukturen der konvexen Fußaußenseite hingegen erscheinen verlängert und dünn [19]. Als weitere pathoanatomische Auffälligkeit ist der fibröse Bindegewebstumor zu nennen, der sich im medialen Fußwurzelbereich zwischen dem Malleolus medialis und der Facies articularis medialis der Trochlea tali erstreckt und medial in den Sinus tarsi bis zum medialen Gelenkspalt des Subtalar-Gelenks reicht [24; 49].

- *Bänder und Gelenkkapseln:* Die Bänder und Gelenkkapseln des Klumpfußes passen sich an die Fehlorientierung der Knochen und Gelenke an. Medial sind die Gelenkkapseln durch die Bänder verstärkt, lateral sind sie überdehnt. Als Teile des fibrösen Bindegewebstumors, der zusätzlich mit der Sehne des M. tibialis posterior und der dünnen Kapsel des Articulatio talonavicularis verwachsen ist, ist der tiefe Anteil des Ligamentum deltoideum mit dem Ligamentum calcaneonaviculare plantare und Ligamentum tibionaviculare verdickt und verkürzt. Die Klumpfußdeformität wird durch dieses fibröse Konglomerat unterhalten, da es das Os naviculare in seiner Subluxationsstellung an den Malleolus medialis bindet und die Pronation und Abduktion des Calcaneus behindert. Die mit zunehmender Inversion einhergehende

Verkürzung der Bänder, zu denen unter anderem das Ligamentum bifurcatum und das Ligamentum plantare longum zählen, führt zu einer zunehmenden Supination im Mittelfuß und Vorfußadduktion [24; 91].

- *Muskulatur*: Die Klumpfußstellung wird unterstützt und verstärkt durch die Änderung der Sehnenverläufe infolge der geänderten Gelenkstellung und die konsekutiv veränderte Muskelzugrichtung aufgrund der Deformität. Insgesamt ist die Muskelmasse des Unterschenkels beim Klumpfuß deutlich vermindert. Diese Atrophie äußert sich im klinischen Bild der Klumpfußwade. Die insgesamt kleineren Muskelbäuche von Musculus soleus und Musculus gastrocnemius sitzen dicht unterhalb der Kniekehle und enden in einer dünneren Achillessehne [67]. Der Ansatz der Achillessehne ist entsprechend der Einwärtskantung des Calcaneus nach medial am Tuber calcanei verlagert und somit maßgeblich an der Gestaltung des Pes varus des Rückfußes beteiligt. Die Kontraktur der Achillessehne sowie die Verkürzung der oberen Sprunggelenkscapsel verhindern die Abwärtsbewegung der Ferse und sind ursächlich für die Equinus-Position des Calcaneus verantwortlich [88].

Der eigentliche Klumpfußmuskel, der eine dreidimensionale Wirkung auf den Fuß ausübt, indem er zugleich eine Spitzfußstellung, Supination und horizontale Innenrotation bewirkt, ist der M. tibialis posterior [35]. In seinem Sehnenanteil und Ansatzbereich sind Einlagerungen fibrösen Bindegewebes zu finden. Der M. tibialis posterior verkürzt sich im Rahmen der Kontraktur, die durch alle Supinatoren und Plantarflektoren verursacht wird, sekundär, da sein Ursprung und Ansatz einander genähert werden [48]. Sein Sehnenansatz ist nicht ausschließlich auf das Os naviculare beschränkt, sondern hat über breite Stränge Verbindung zur Plantaraponeurose. Letztere wirkt aufgrund ihrer Kontraktur ebenfalls plantarflektierend und kann bei übermäßiger Verkürzung einen Hohlfuß erzeugen [24; 88; 91].

Der Sehnenansatz des M. tibialis anterior ist häufig weit nach plantar verlagert, so dass er zusätzlich die Adduktions- und Supinationswirkung der invertierenden Muskulatur verstärkt [24; 88]. Die Verkürzung der Supinatoren und Plantarflexoren führt zu einem Übergewicht gegenüber den Pronatoren und Dorsalextensoren. Dieses Ungleichgewicht wird durch die Kraftminderung der Pronatoren und Dorsalextensoren verstärkt, die auf der starken Überdehnung dieser Muskelgruppen infolge der Deformität beruht.

Insbesondere die Muskeln der Peroneusgruppe sind verschmächtigt und geschwächt [48]. Aufgrund der Equinusstellung sind die Zehenbeuger verkürzt. Diese Zehenbeugekontraktur muss konservativ durch Dehnung beseitigt werden, um eine Formerhaltung nach Korrektur der Klumpfußdeformität zu gewährleisten [48].

1.1.4. Klumpfußbehandlung

Die konservativen Behandlungsprinzipien der Hippokratiker (400 v. Chr.) waren lange Zeit maßgebend für die Therapie des Klumpfußes. Die manuelle Korrektur und das Prinzip der Fixierung mittels formsichernder Schienen bildeten die Grundpfeiler der Behandlung. Im Mittelalter wurden dann sogenannte Osteoklasten zur Umformung der Klumpfüße entwickelt. Diese Redressionsmaschinen fanden bis in dieses Jahrhundert ihre Anwendung. Durch die Einführung der subkutanen Achillototenomie im Jahre 1831 durch Stromeyer wurde ein entscheidender Fortschritt in der Behandlung des Klumpfußes erreicht. Nach Einführung der Narkose im Jahre 1846 wurden zahlreiche Operationsmethoden an den knöchernen Elementen sowie an den Sehnen und Bändern des kindlichen Klumpfußes entwickelt. Im Rahmen der Nachbehandlung kamen dann verschiedene Schienen zum Einsatz [19; 45; 48]. Bei älteren Kindern hat Phleps (1881) eine umfangreiche Durchtrennung von Weichteilen an der Fußinnenseite sowie eine Achillessehnenverlängerung durchgeführt [45]. Turco hingegen propagierte eine weitaus weniger radikale Methode, die eine Durchtrennung der Kontrakturen im hinteren, medialen und subtalaren Fußbereich vorsieht [91]. Ponseti entwickelte, auf Grund der schlechten Langzeitergebnissen vieler Klumpfußoperationen, 1950 eine nahezu konservative Behandlungsmethode für Klumpfüße. Diese beinhaltet neben einer Serie von Redressionsgipsen, bei der vor jedem Gips der Fuß jedes Mal ein Stück weiter nach außen rotiert wird bis eine Außenrotation um 70° erreicht ist, und einer anschließenden Schienenbehandlung mit Fuß-Abduktions-Orthesen bis zum 4. Lebensjahr einzig einen nicht invasiven Kleinsteingriff zur Achillessehnenverlängerung in Form einer perkutanen Achillo-Tenotomie in Lokalanästhesie. Innerhalb der ersten 4 Lebensjahre muss sorgfältig auf eventuelle Rezidive geachtet werden. Eine Langzeitstudie über 10 Jahre zeigte, dass die meisten Klumpfüße leicht durch eine Serie

von weniger oder gleich fünf Gipsverbänden innerhalb von durchschnittlich 20 Tagen korrigiert werden können. Lediglich eine sehr geringe Anzahl von Säuglingen mit sehr hochgradigen, kurzen und dicken Klumpfüßen sowie mit steifen Bändern, die der Dehnung nicht nachgeben, bedarf einer operativen Behandlung. Diese Technik kann bei Kinder bis zu 2 Jahren angewendet werden [59; 72]. Neben diesen operativen Behandlungsprinzipien vertreten Kite (1964) in den USA und Rabl in Deutschland die Meinung, dass man mit einer rein konservativen Therapie, d.h. ohne operativen Eingriff, fast alle Säuglingsklumpfüße heilen kann [56; 77]. Allen Behandlungsprogrammen ist gemeinsam, dass sie lediglich die Korrektur der Fußdeformität zum Inhalt haben, nicht aber die „systematische Ertüchtigung der formerhaltenden Muskeln“ [48]. Der Kern des Behandlungsprinzips nach Imhäuser ist „die Kombination formkorrigierender Maßnahmen und funktioneller Therapie“, denn „ohne normale Form keine normale Funktion und ohne normale Funktion bleibt keine normale Form“ [48]. Alternative OP-Verfahren zu der von Imhäuser durchgeführten Rückfußentwicklung (s. Kap. 1.2.3) lassen sich in weichteilige und knöcherne Verfahren unterteilen.

Weichteilige Verfahren:

Hälftige Sehmentransfers des M. tibialis posterior oder des M. tibialis anterior bergen die Gefahr einer Tenodese des unteren Sprunggelenkes mit Behinderung der In- und Eversionsbewegungen. Komplette Sehmentransfers der oben genannten Muskeln können zu einer Überkorrektur in den Knickfuß führen, insbesondere bei gleichzeitiger Achillessehnenverlängerung.

Mit Ausnahme des Fersenhochstandes ist die Operation nach Hoke, die perkutane Achillessehnenverlängerung, nur bei gut korrigierbarem Vor- und Rückfuß bei primärem Klumpfuß indiziert.

Knöcherne Verfahren:

Die Operation nach McHale beinhaltet eine aufklappende Os cuneiforme mediale und eine zuklappende Os cuboideum-Osteotomie. Sie ist indiziert bei persistierender

knöchern-struktureller Vorfußadduktion nach korrekt korrigierter Rückfußstellung nach dem 6. Lebensjahr.

Bei der Operation nach Evans erfolgt zunächst eine mediale Ablösung des M. abductor hallucis sowie der medialen Klammer mit anschließender lateraler Calcaneocuboidgelenksresektion. Indiziert ist dieser Eingriff bei persistierender, strukturell fixierter Vorfußadduktionsstellung bei korrigierter Rückfußstellung ab dem 4. Lebensjahr.

Bei der Operation nach Dwyer unterscheidet man zwei Typen, zum einen die zuklappende laterale Calcaneusosteotomie und zum anderen die aufklappende mediale Calcaneusosteotomie. Letztere findet wegen hoher Raten der Wundheilungsstellung kaum noch Anwendung. Indiziert ist die Dwyer-Osteotomie bei strukturellem Rückfußvarus, wenn die übrigen Komponenten eines Klumpfußes bereits korrigiert sind.

Die resezierende Chopart-Arthrodeese findet ihre Anwendung bei knöchern fixierter Vorfußadduktions- oder Supinationsdeformität ab dem 10. Lebensjahr.

Die korrigierende Tripelarthrodeese erfolgt bei veralteten oder in Fehlstellung verheilten Klumpfüßen. Hierbei ist eine Korrektur des Rück- und Vorfußes in allen drei Ebenen möglich. Gleichzeitig sollte ein M. tibialis posterior-Sehnentransfer zur Rezidivprophylaxe erfolgen.

Die Lambrinudi-Arthrodeese ist indiziert bei knöchernem Dorsalflexionsanschlag im oberen Sprunggelenk, bei Flat-op-talus oder bei Kombinationsspitzfuß.

Metatarsale-Basis-Osteotomien I-V erfolgen bei persistierender Vorfußadduktionsstellung in Höhe der tarsometatarsalen Gelenklinie (Lisfranc) nach erfolgter Rückfußkorrektur.

Insgesamt ist festzuhalten, dass häufige Fehler bei der operativen Korrektur des primären Klumpfußes in der nicht vollständigen Ausschöpfung konservativer

Behandlungsmethoden sowie in zu umfangreichen oder zu geringen operativen Eingriffen mit der Gefahr der Überkorrektur bzw. der Unterkorrektur liegen.

1.2. Das Behandlungsprinzip nach Imhäuser

Imhäuser charakterisiert den muskulären Klumpfuß als Kontraktur und folgert daraus, dass es mit orthopädischen Mitteln möglich sein muss, die Deformität zu überwinden und damit eine normale Fußform schaffen zu können. Hierzu muss man „die Klumpfußdeformität als Ganzes betrachten und als Einheit behandeln“ [48]. Das gemischt konservativ-operative Behandlungsprinzip des idiopathischen Klumpfußes nach Imhäuser ist weniger invasiv als das vieler Kollegen, die radikale Durchtrennungen von Fußweichteilen oder großzügige Arthrolysen propagieren. Es beschränkt sich auf die zunächst konservative Beseitigung der Vorfußadduktion und – supination, sowie die der damit verbundenen Beseitigung der Varusfehlstellung der Ferse. Ausschließlich die Spitzfußstellung wird am Ende des 4. Lebensmonats operativ korrigiert. Nach Imhäuser haben großzügige Arthrolysen mit Sehnenverlängerungen und - durchtrennungen „kaum eine Berechtigung für das Kleinkindesalter“ und „sollten auch für die Behandlung im Spiel- und Schulalter nicht propagiert werden“ [48]. Im Anschluss an diese Formkorrektur, durch die sich die durch Überdehnung nahezu funktionslosen Pronatoren und Dorsalextensoren durch Annäherung ihres Ursprungs und Ansatzes erholen können, muss eine systematische Übungstherapie zur Schaffung des Muskelgleichgewichts durchgeführt werden. Ohne letztere kommt es unweigerlich zum Rezidiv [45]. Das Therapieschema nach Imhäuser beinhaltet als weitere grundsätzliche Neuerung eine Beendigung der Behandlung des Säuglingsklumpfußes im ersten Lebenshalbjahr [48].

1.2.1. Die gedeckte Reposition

Die Sofortbehandlung des Säuglingsklumpfußes kurz nach der Geburt beschränkt sich auf einen einzelnen, „nur Sekunden dauernden Repositionsgriff“, den so genannten Dreibackengriff, „um den Klumpfuß in einen achsengerechten Spitzfuß zu überführen“. Zu diesem frühen Zeitpunkt „ist die Kontraktur noch relativ weich und setzt der Reposition geringeren Widerstand entgegen als später“ [48].

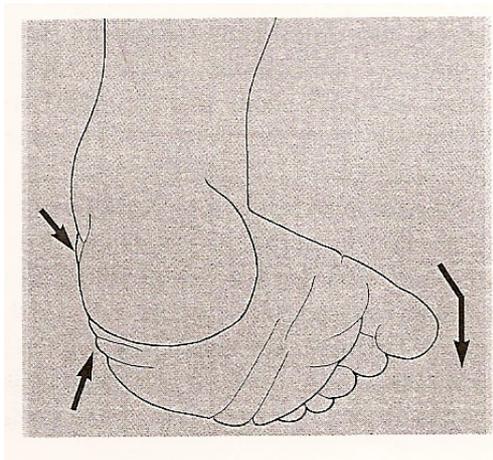


Abbildung 1.3: Korrekturdruckpunkte

[entnommen aus F. Grill, „Der Klumpfuß“, Orthopäde, (1996), 364-378]

Diese achsengerechte Spitzfußstellung kann exakt und schonend nur auf operativem Weg beseitigt werden [48]. Würde man den durch die Verkürzung des M. triceps surae bedingten Spitzfuß manuell beseitigen, so „handelte man sich unnötige Schwierigkeiten ein“ [48]. Es kann zur Ausbildung eines Schaukelfußes kommen, bei dem der Vorfuß dorsalwärts gedrückt wird, wobei der Rückfuß dagegen stehen bleibt; oder der Talus kann im Sinne eines Nussknackermechanismus zwischen Calcaneus und dem unteren Tibiaende zusammengestaucht werden [48].

1.2.2. Fixierungsbehandlung mit Gipsverbänden

Der durch die Reposition erlangte achsengerechte Spitzfuß muss in einem Gipsverband fixiert werden. Hierzu werden zunächst der Unterschenkel und der Fuß unter Kniebeugung und Oberschenkelinnenrotation bis zu den Zehengrundgelenken eingegipst. Der sich erhärtende Gips wird anschließend so modelliert, „dass der Fuß in sich gerade und zum Unterschenkel so weit gehoben ist, bis die Achillessehne Widerstand gibt“ [48]. Zur Beseitigung der durch Reposition entstandenen Zehenbeugekontraktur werden die Zehen so weit es geht nach dorsal gedrückt und in größtmöglicher Dorsalextensionsstellung in den Gipsverband einbezogen [48]. Abschließend wird der Unterschenkelgips bei rechtwinkliger Stellung des Knies bis zur Leiste verlängert. Nach einer Woche wird der erste Gipsverband durch einen Gipsverband in gleicher Stellung unter Vergrößerung der Dorsalextensionsstellung der Zehen ersetzt. Die folgenden Gipswechsel werden im ersten Lebensmonat wöchentlich durchgeführt, anschließend alle zwei Wochen [44]. Im 4. Lebensmonat endet die Gipsreihenbehandlung und es schließt sich die operative Korrektur des Spitzfußes an [44].



Abbildung 1.4: Redressierender Gipsverband in den ersten Lebensmonaten eines Kindes mit beidseitigem Klumpfuß

1.2.3. Die operative Spitzfußbeseitigung (Rückfußentwicklung)

Erst wenn die Füße optimal korrigiert sind, d.h. ein in Spitzfußstellung stehender Normalfuß durch Reposition mit anschließenden Gipsverbänden erreicht ist, darf eine Rückfußentwicklung vorgenommen werden [48]. Während der Operation befindet sich das Kind in Bauchlage. Nachdem der Operateur die Haut an der Außenseite des Unterschenkels mit einem lateralkonvexen Bogenschnitt durchtrennt hat, legt er die Achillessehne frei. Anschließend führt er eine z-förmige Achillototenotomie durch, indem er die Achillessehne distal an der medialen Hälfte und proximal an der lateralen Hälfte durchtrennt. Um die Equinusstellung vollständig beseitigen zu können, muss zusätzlich die Kapsel des oberen Sprunggelenks quer eröffnet werden [44]. Im nächsten Schritt wird dann ein Kirschnerdraht quer durch den knöchernen Calcaneuskern gestoßen und mit einem Kirschner-Bügel gespannt. Nun wird das Schedesche Fersenzuginstrument auf die Fußsohle aufgesetzt und der Querbalken des Instruments so weit hochgedreht, bis der Bügel in festem Kontakt mit dem Querbalken steht [48]. Jetzt kann durch Hebeldruck am Fersenzuginstrument die Rechtwinkelstellung des Fußes zum Unterschenkel herbeigeführt werden. Die anschließende Naht der Achillessehnenhälften erfolgt seit-zu-seit. Die so erreichte Verlängerungsstrecke der Sehne liegt zwischen 1,0 und 1,5 cm [44]. Nach dem Wundverschluss wird unter Zug am Kirschner-Bügel und Gegenzug an der Beugeseite des Oberschenkels zunächst ein dünn gepolsterter Unterschenkelgipsverband angelegt, der dann bei rechtwinkliger Kniebeugung wieder bis zur Leiste verlängert wird. Der erneut auftretenden Zehenbeugekontraktur muss postoperativ mit Dehnung entgegengewirkt werden [48]. Nach 3 Wochen werden der Kirschner-Draht und der Gipsverband entfernt und ein neuer ungepolsterter Gipsverband wird für weitere drei Wochen angelegt.



Abbildung 1.5: Postoperativer Gipsverband bei einem Kind mit beidseitigem Klumpfuß nach operativer Spitzfußbeseitigung

1.2.4. Übungsbehandlung der formsichernden Muskeln

Damit der Fuß nach der Formkorrektur in seiner Form einwandfrei bleibt, muss sich laut Imhäuser die Muskulatur des Fußes im Gleichgewicht befinden [48]. Entgegen der Auffassung von Debrunner, dass sich die formerhaltende Muskulatur (Pronatoren und Dorsalextensoren) spontan erhole, ist Imhäuser der Meinung, dass dies nicht ohne besonderes Trainingsprogramm möglich ist [45]. Die von Imhäuser durchgeführten Übungsbehandlungen machen sich die Tatsache zunutze, dass ein Säugling den Fuß beim Streichen über die Fußhaut in Richtung der Reizquelle bewegt. Daher kann man durch Hautreizung der Vorderpartie des Fußrückens und der Dorsalseite der Zehen die Zehen und den Fuß auf dem Reflexweg zur aktiven Dorsalextension veranlassen und durch Bestreichen der Fußaußenseite eine Pronation des Fußes erreichen [48]. Um die volle pronatorische und dorsalextendierende Muskelkraft zu erreichen, müssen die Eltern die Übungen konsequent 6- bis 8mal täglich für jeweils 3-5 Minuten durchführen. Beherrschen die Eltern nach fachkundiger Anleitung die Durchführung der Übungen, kann das Training im häuslichen Umfeld durchgeführt werden [48].

1.2.5. Nachbehandlung und Nachsorge

Nach den zwei postoperativen Gipsverbänden wird eine Oberschenkelschiene mit Fersenzug, die so genannte Imhäuserschiene, angepasst, um die Rechtwinkelstellung des Fußes zum Unterschenkel zu sichern, da die Kontraktur des M. triceps surae die rezidivfreudigste Teilkomponente des Klumpfußes ist [45]. Sie muss für ungefähr ein halbes Jahr ganztägig während der Zeiträume zwischen den Übungsbehandlungen getragen werden. Bei regelmäßig durchgeführter Fußgymnastik kann, entsprechend dem Kraftzuwachs der Muskulatur, „die Schiene temporär zunächst am Tage kurzfristig weggelassen werden, später - je nach Fortschritt- länger. Beim Mittagsschlaf und in der Nacht trägt das Kind die Schiene bis in das 2. Lebensjahr hinein“ [48]. Beginnt das Kind zu stehen bzw. zu gehen, wird dem Kind eine randlose Einlage, die das Längsgewölbe nicht unterstützen darf, mit Pronationskeil verordnet. Durch sie wird der Großzehenballen tief gelagert und der Kleinzehenballen hochgelegt [45]. Ist zu diesem Zeitpunkt die Fußform noch nicht auskorrigiert oder die Muskulatur noch nicht ausreichend gestärkt, so muss der Fuß zunächst in einem maßgefertigten Gießharzstiefel immobilisiert werden. Diese Stiefel müssen täglich getragen werden und dürfen das Kind in seinem Aktionsradius nicht allzu sehr einschränken [45]. Zusätzlich ändert sich im Laufe des 2. Lebensjahres auch die Art der Krankengymnastik. Da die frühkindlichen Reflexe gegen Ende des 1. Lebensjahres verschwinden, muss das Kind nun lernen den Fuß aktiv zu pronieren und dorsal zu flektieren. Die Nachuntersuchungen werden zunächst alle vier bis sechs Wochen, dann halbjährig und später jährlich durchgeführt. Sie dienen der Kontrolle der Fußform und der Funktion, so dass ein eventuell auftretendes Rezidiv frühzeitig festgestellt werden kann [48].

1.3. Ganganalyse und Pedographie

In der Kinderorthopädie erfolgt die Beurteilung eines Ergebnisses nach Klumpfuß-Operation im Rahmen der klinischen Nachuntersuchungen normalerweise anhand einer visuellen Bewegungsbetrachtung. Hierbei können Ganganomalien, z.B. Hinken, qualitativ beschrieben sowie zeitliche Asymmetrien zuverlässig bestimmt werden. Im

Gegensatz zum Ganglabor sind qualitative Beurteilungen in Hinsicht auf Bewegungsmuster und Belastungen immer mit Subjektivität und der Möglichkeit der Fehlinterpretation gekoppelt [3; 65].

Die nichtinvasiven biometrischen Messverfahren und Messgeräte des Ganglabors liefern präzise Daten hinsichtlich der bei Haltungen und Bewegungen auftretenden Gelenkwinkelbewegungen, Muskelaktivitäten und Gelenkkräfte. Dies ermöglicht die Ermittlung von vergleichbaren und objektiven Parametern bei krankheitsbedingten Gangbildveränderungen und trägt letztlich zur Qualitätssicherung sowie zur Präzisierung und Korrektur empirischer Erkenntnisse bei [59; 70].

Zur Erfassung des Gangbildes wurde eine Vielzahl von objektivierbaren Meßmethoden entwickelt. Davon kamen in der vorliegenden Studie die folgenden Instrumentarien des Ganglabors der Deutschen Sporthochschule Köln zum Einsatz:

- plantare Druckverteilungsmessung unter der Fußsohle (EMED Novel). Mit Hilfe dieser Messungen lassen sich primär Problematiken des Fußes und Pathologien im Abrollvorgang erfassen.
- Bodenkraftmessung (Kistler-Kraftmessplatten). Die aus den Messungen der Bodenreaktionskräfte gewonnen Kurven zeigen vertikale und horizontale Kraftkomponenten, Ganglinien, Torsionsmomente, Brems- und Beschleunigungsarbeit.
- Video-Bewegungsanalyse mit zwölf Infrarot-Kameras (Vicon 624). Aus den analysierten Raum-Bewegungen von Licht reflektierenden Markern können weitere kinematische Parameter, wie die Winkelbewegung der Gelenke in den verschiedenen Gangphasen, gewonnen werden.

1.3.1. Geschichte der Ganganalyse und Pedographie

Seit über 2000 Jahren ist die Komplexität des menschlichen Bewegungsapparates und das nach einer überaus komplizierten Partitur [18] ablaufende Gangbild Gegenstand der Forschung. Um eine vollständige Analyse des menschlichen Ganges zu erhalten, werden in der modernen Ganganalyse mehrere Komponenten integriert. Im Folgenden wird jedoch nur auf die geschichtliche Entwicklung der Kinematik und Kinetik näher eingegangen.

Kinematik

Die Kinematik ist die quantitative Beschreibung von Gelenkwinkeln oder von Bewegungen von Körpersegmenten. Kinematische Systeme werden in der Ganganalyse benutzt, um die Position und die Ausrichtung von Körpersegmenten, die Gelenkwinkel und die dazu gehörenden linearen und angulären Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aufzunehmen [57]. Erste Bewegungsabläufe wurden bereits von Aristoteles (384-322 v. Chr.) beschrieben [9]. Leonardo da Vinci (1452-1519) untersuchte die Kinematik des menschlichen Ganges, indem er genaue visuelle Beobachtungen durchführte [94]. Im 17. Jahrhundert betrachtete Giovanni Borelli (1608-1679) das Gangbild erstmals unter mechanischen Aspekten und veröffentlichte in seinem Werk „De motu animalium“ (1680) die erste Biomechanik des menschlichen Ganges [94]. Auch die Veröffentlichung „Die Individualitäten des aufrechten Ganges“ von Meyer (1815-1892) aus dem Jahre 1853 beruht einzig und allein auf einer qualitativen Beschreibung der Bewegungsabläufe sowie ihrer Darstellung anhand von Strichfiguren [69]. Die erste Erfassung objektiver Parameter mit Hilfe von physikalischen Messmethoden in Bezug auf Schrittlänge, Schrittdauer und die Bewegung der Körperschwerpunkte im zeitlichen Verlauf gelang den Gebrüdern Weber in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts [16]. Es folgten Ende des 19. Jahrhunderts die ersten bildgebenden Untersuchungen. Beispielsweise konnte mit dem von Marey 1873 entwickelten tragbaren pneumographischen Aufzeichnungsgerät die Belastungs- und Schwunghasenzeit bestimmt werden. Des Weiteren ermöglichten die von Carlet 1872 durchgeführten dynamographischen Untersuchungen erstmals die Messung der beim Laufen entstehenden Kräfte [94]. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts wurden zahlreiche

kinesiologische Untersuchungen des menschlichen Ganges mit jeweils dem Stand der Technik entsprechenden Messmethoden durchgeführt. Zur objektiven Erfassung von Schrittweite, Kadenz, Kontaktzeit und Gehgeschwindigkeit verwendete Bertoti (1986) Tintenabdrücke auf Papierstreifen, Law (1987) hingegen befestigte Messstreifen an den Füßen [6; 61]. Andere optimierten die Erhebung dieser Parameter durch Einbau von Kontaktschaltern in Schuhsohlen (Dewar 1980) oder mit Hilfe von in Laufstegen integrierten Kontaktmessern (Mirokava 1989) [22; 41]. Ellis et al. (1987) und auch Carmines et al. (1988) verwendeten speziell entwickelte Goniometer, die an den großen Gelenken der Probanden befestigt wurden und zusätzlich eine direkte Winkelmessung erlaubten [11; 26]. Der Fortschritt in der Film- und Videotechnik erlaubte die Entwicklung zahlreicher neuer kinematischer Systeme. Dem photographischen Verfahren von Funke, der so genannten Motographie, folgten weitere Systeme, die unter Verwendung aktiver und passiver Marker, je nach Anzahl und Position der Kameras, eine zwei- oder dreidimensionale Bewegungsanalyse ermöglichen [33; 54]. Zu den zuletzt genannten 3D-Kinematik-Systemen gehört das in dieser Studie verwendete Vicon 624-Bewegungsanalysesystem.

Kinetik

Die Kinetik ist die quantitative Beschreibung der Kräfte, die auf ein Gelenk oder einen Körperteil wirken, d.h. jener Faktoren, die eine Bewegung verursachen oder kontrollieren [57]. Zur Erfassung kinetischer Parameter ist die Messung von Bodenreaktionskräften die geeignetste Methode. Die ersten Messungen der Druckverteilung unter dem Fuß wurden um die Jahrhundertwende von Beely und Muskat durchgeführt. Die Probanden mussten bei dem von ihnen entwickelten Verfahren auf mit Leintuch umwickelten Gipsbrei treten [23]. Mit der von Milatz 1921 verwendeten Waage mit sechs pneumatischen Druckgebern unter den Füßen konnten die ersten quantitativen Ergebnisse gewonnen werden [23]. 1930 entwickelte Morton eine Gummiplatte mit pyramidenförmigen Erhebungen, den so genannten "Kinetographen". Durch eine darunter liegende Glasplatte konnte die Abflachung der Pyramiden unter Belastung gesehen werden [71]. Dieses Verfahren wurde 1934 von Elftmann insoweit weiterentwickelt, als dass er zur besseren Darstellung des Bewegungsablaufs die Zwischenräume der Pyramiden mit einer Kontrast gebenden

Flüssigkeit füllte [25]. Färbt man die Gummiplatte vor der Belastung mit Stempelfarbe und legt sie auf ein Blatt Papier, so erhält man einen Abdruck der Pyramiden, dessen Intensität der Belastung entspricht [20]. 1960 machte sich Chodera eine weitere optische Methode, bei der die Totalreflexion einer Glasplatte durch das Gegenpressen einer Plastikfolie mit definierter Rauigkeit verändert wird, zur Entwicklung des Pedobarographen zunutze. Bei gleichzeitiger Beleuchtung der Glasplatte von der Seite lassen unterschiedliche Hell-Dunkel-Abstufungen verschiedene Flächendrücke erkennen [12]. Schwartz führte 1947 direkte Messungen mit an der Sohle befestigten elektronischen Sensoren durch. Bei Kompression der verwendeten flachen Kohleaufnehmer kam es zur Widerstandsänderung. Es resultierten Druckkurven von der Großzehe, den Metatarsalköpfchen I, III und V sowie von der Ferse [84].

Die Grundlage der lokalen Druckmessung mit elektronischen Sensoren bilden verschiedene physikalische Prinzipien. Stumbaum und Diebschlag entwickelten 1980 Kraftaufnehmer, die auf dem Prinzip der Induktivität aufbauen. Ihre relativ geringe Dicke ermöglichte die Messung im Schuh [82; 89]. Lereim et al. verwendeten 1973 ein leitfähiges Messsystem, die Dehnungsmessstreifen-Technik [62]. Rodgers und Cavanagh sammelten 1989 die Daten ihrer Druckverteilungsmessung mit Hilfe von relativ dünnen Messmatten, die auf dem piezoelektrischen Effekt basierten [79]. Das von Durie et al. 1979 eingesetzte resistive Messverfahren beruht auf der Verformung und der sich daraus ergebenden Widerstandsänderung eines elektrisch leitenden Schaumstoffes [20]. Heutzutage findet diese Technik aufgrund von Linearitätsproblemen mit der Messung kaum noch Anwendung in der Praxis, sie wurde vielmehr von kapazitiven Messsystemen abgelöst. Es handelt sich hierbei um aus Kondensatoren bestehende Druckmessfühler mit elastischem Schaumstoffmaterial zwischen zwei Kondensatorplatten. Die Abstandsänderung dieser Platten unter Krafteinwirkung führt zu einer Kapazitätsänderung, die letztlich in elektrische Spannungsänderung umgewandelt wird. Ihr Betrag kann in Bezug zur aufgebrachten Kraft gesetzt werden.

Im Gegensatz zu „resistiven Verfahren ist das rückstellende Element der Kraftsensoren (analog einer Federwaage) beim kapazitiven Verfahren exakt definiert. Scherkräfte werden elastisch abgefedert und verändern auch bei Dauerbelastung die Eigenschaften der Sensoren nicht“ [27]. 1976 verwendeten beispielsweise Nicol und Henning ein

kapazitives Messsystem, bei dem sie den Fußdruck mit einer größeren Aufnahmeplatte erfassten. Der Einsatz einer hohen Anzahl von Messfühlern ermöglichte ihnen eine bessere Unterscheidung der einzelnen Areale unter der Fußsohle [73; 80]. 1983 verfeinerten Brunner et al. dieses Verfahren, indem sie die Anzahl der Sensoren auf 9 pro cm² erhöhten. Diese höhere Messstellendichte ist insbesondere bei Kinderfüßen erforderlich, um die Auflagepunkte der Fußgewölbekonstruktion einzeln auflösen zu können [10]. Letztgenanntes System, zu dem auch das in dieser Studie verwendete EMED NOVEL- System zählt, ermöglicht nicht nur die quantitative Erfassung sowohl von statischen als auch von dynamischen Bodenreaktionskräften, sondern weist zusätzlich eine hohe Messgenauigkeit auf [34].

1.3.2. Einsatzbereiche der Ganganalyse und Pedographie

Die aus Druckverteilungsmessungen und computerunterstützten Ganganalysen gewonnenen Ergebnisse finden nicht nur in der Medizin (Orthopädie, Traumatologie, Endokrinologie) ihre Anwendung, sondern auch in der Sportwissenschaft (Biomechanik) sowie in der Schuhindustrie.

In der Klinik hat die Untersuchung der Plantardruckverteilung beispielsweise im Rahmen der Behandlung des diabetischen Fußes einen hohen Stellenwert erlangt. Messungen ergaben, dass Füße von Patienten mit diabetischer Polyneuropathie beim Abrollvorgang signifikant erhöhte Druckwerte unter der Fußsohle aufweisen [7; 15].

Da lokal erhöhte Druckwerte die Entstehung von Ulcera bedingen, führte Schaff 1987 in seiner Klinik einen standardisierten Untersuchungsgang für die Routineuntersuchung von Diabetikern ein [81].

Im Rahmen von Erkrankungen wie Morbus Parkinson, infantiler Zerebralparese oder muskulären Dystrophien, die durch ihren Einfluss auf das neuromuskuläre und das muskuloskelettale System zu Gangstörungen führen können, wird die quantitative Ganganalyse unterstützend zur Beurteilung der Ausgangssituation zur Dokumentation von konservativen Therapieverläufen sowie zur chirurgischen Therapieplanung

herangezogen [57; 76]. Die instrumentelle Bewegungsanalyse dient deshalb auf dem Gebiet der infantilen Zerebralparese, die im Laufe des Wachstums zur Abnahme der Mobilität bis hin zum Verlust der Gehfähigkeit führt, im Vorfeld von operativen Gangverbesserungen zur Analyse und Objektivierung von spastischen Gangstörungen. So konnte nicht nur die subjektive Zunahme der Gehleistung um bis zu 500% erreicht werden, sondern auch eine signifikante Verbesserung der Bewegungsumfänge von Gelenken und Drehmomenten [87].

Weitere bedeutende Anwendungsbereiche finden sich in der Traumatologie und der Orthopädie. Schwerpunkt traumatologischer Studien ist die Evaluation des Gangbilds nach Verletzungen im Bereich des Fußes oder des Sprunggelenkes. Mittlmeier et al. (1991) stellten in dem von ihnen untersuchten Krankengut, das Patienten mit Talus- oder Calcaneusfrakturen umfasste, eine gute Korrelation von klinischen Scores und ausgewählten Parametern der Pedographie fest [70].

Im Bereich der Kinderorthopädie zeigten Steinwender et al. (2000), dass bei Kindern mit behandeltem angeborenem Klumpfuß ab dem sechsten Lebensjahr regelmäßig eine verminderte Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk mit frühzeitiger Streckung im oberen Sprunggelenk zu finden ist [86]. Keld et al. (2002) führten bei 49 Kindern mit behandeltem angeborenem Klumpfuß eine Pedographie durch. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigten sich, mit Ausnahme des Mittelfußbereiches, in allen Regionen der Fußabdrücke niedrigere Peak Pressure-Werte. Zusätzlich konnte, im Gegensatz zur Norm, eine Abnahme der Peak Pressure-Werte im Fersenbereich mit steigendem Alter festgestellt werden [55].

In der Prothetik tragen objektive Messungen der Gangfunktion wesentlich zur Verbesserung der Ausrichtung und Anpassung von Beinprothesen bei. In der Orthetik gelingt mit Hilfe der Ganganalyse nicht nur eine Verbesserung der Schienenversorgung, sondern auch der Einblick in die Funktionsweise von Orthesen [57]. Im Bereich der Sportbiomechanik und der Schuhindustrie wird die Pedographie und quantitative Ganganalyse im Rahmen der Materialforschung sowie der Konstruktion von sportartspezifischem, altersentsprechendem oder orthopädischem Schuhwerk eingesetzt [80]. So ergaben die von Kristen et al. 1998 durchgeführten Untersuchungen bezüglich des Gangbildes von Kindern im Laulernalter, dass Schuhe das Belastungsverhalten

beim Gehen signifikant beeinflussen. Lauflernschuhe müssen daher „einen stabilen Halt für den Rückfuß bieten und andererseits die Hauptbewegungsachsen Sprunggelenk und Zehengrundgelenke freigeben“ [58]. In den von Lampe et al. 2004 durchgeführten Ganganalysen hinsichtlich der Belastung des Kinder- und Jugendfußes bei sportlicher Aktivität „zeigte sich bei Jugendlichen eine Absenkung im Längsgewölbe des Fußes unter Belastung“. Daher sollte bei der Wahl eines geeigneten Sportschuhs in diesem Alter auf eine Längsgewölbestützung geachtet werden [60].

2. Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie war es, pathologische Druckverteilungsmuster der Füße und das Gangbild nach Klumpfußbehandlung nach Imhäuser bei idiopathischem Klumpfuß mit Hilfe der dynamischen Pedobarographie (EMED NOVEL mit 9 Sensoren/cm²) und dem Vicon 624-Bewegungsanalyzesystem bei Kindern zu erfassen.

Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Korrelieren die klinischen Ergebnisse mit den gewonnen pedographischen und ganganalytischen Daten?
- Gibt es Seitendifferenzen beim Vergleich einseitig operierter Klumpfüße mit der gesunden Gegenseite bzw. beidseitig operierter Klumpfüße mit dem Kontrollkollektiv?
- Gibt es Unterschiede hinsichtlich anatomischer und biomechanischer Parameter zum Kontrollkollektiv?
- Wie ist die Wertigkeit der Operationsmethode nach Imhäuser mittel- und langfristig gesehen zu beurteilen?
- Ist eine Anwendung in der Praxis durchführbar?

3. Material und Methoden

3.1. Untersuchungskollektiv

3.1.1. Patientenauswahl

In der vorliegenden Studie wurden nur Kinder mit klinisch und radiologisch nachgewiesenem kongenitalem Klumpfuß untersucht, die in den Jahren zwischen 1988 – 1992 in der Orthopädischen Universitätsklinik Köln nach dem Schema von Imhäuser, einschließlich Achillessehnenverlängerung und Fersenentwicklung, behandelt wurden. Kinder mit einem Klumpfuß-Rezidiv bzw. mit einer zusätzlich notwendig gewordenen Sehnen-Transposition sowie Kinder, deren Klumpfüßerkrankung sekundärer Genese ist, wurden nicht in diese Nachuntersuchung mit einbezogen.

Alle Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten, wurden schriftlich oder telefonisch zu einer Nachuntersuchung in das Institut für Biomechanik der Sporthochschule Köln eingeladen. Insgesamt wurden im Zeitraum von 1988 - 1992 67 Kinder mit kongenitalem Klumpfuß behandelt. Dabei handelte es sich um 50 Jungen und 17 Mädchen. Bei 25 Patienten konnte keine Adresse ausfindig gemacht werden. Von den angeschriebenen 42 Patienten waren 24 (57,1%) bereit, an der Nachuntersuchung teilzunehmen.

3.1.2. Seiten- und Geschlechterverteilung

Bei den 24 untersuchten Kindern handelte es sich um 7 Mädchen und 17 Jungen. Bei 9 Kindern (37,5 %) betraf der Klumpfuß das rechte, bei 7 Kindern (29,2 %) das linke Bein. In 8 Fällen (33,3 %) war der Klumpfuß beidseitig. Insgesamt werden demnach 32 Klumpfüße bei insgesamt 24 Kindern nachuntersucht (siehe Tabelle 3.1).

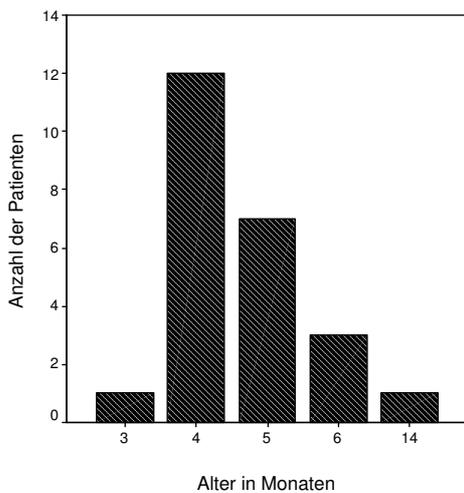
			Seite des Klumpfuß			Gesamt
			beidseitig	rechts	links	
Geschlecht	männlich	Anzahl	6	6	5	17
		% der Gesamtzahl	25,0%	25,0%	20,8%	70,8%
	weiblich	Anzahl	2	3	2	7
		% der Gesamtzahl	8,3%	12,5%	8,3%	29,2%
Gesamt		Anzahl	8	9	7	24
		% der Gesamtzahl	33,3%	37,5%	29,2%	100,0%

Tabelle 3.1: Seiten- und Geschlechterverteilung im Untersuchungskollektiv

3.1.3. Alter zum Zeitpunkt der OP und Nachuntersuchung

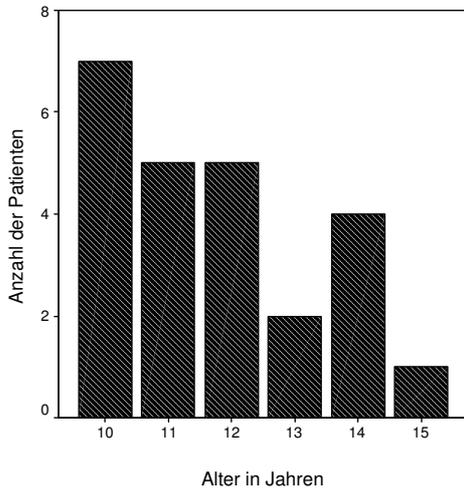
Das Durchschnittsalter der untersuchten Kinder lag zu Therapiebeginn bei 21,6 Tagen, wobei bei 80% innerhalb der ersten 4 Lebenstage die Behandlung begonnen wurde (Median = 3. Lebenstag).

Die operative Intervention erfolgte im Mittel bei 4,92 Monaten (siehe Graphik 3.1 mit einem Median bei 4 Monaten).



Grafik 3.1: Altersverteilung bei der operativen Intervention

Entsprechend den Einschlusskriterien lag das Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zwischen 10 und 15 Jahren. Das Durchschnittsalter der Kinder lag bei 11,75 Jahren (siehe Graphik 3.2).

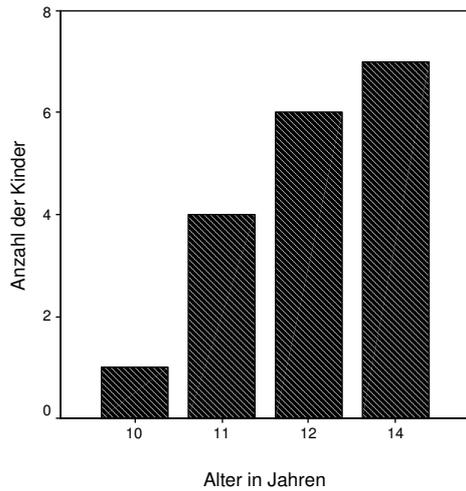


Grafik 3.2: Altersverteilung bei der Nachuntersuchung

3.2. Kontrollkollektiv

Die Daten der Kontrollgruppe wurden von dem Institut für Biomechanik der Sporthochschule Köln für diese Studie zur Verfügung gestellt. Das Normalkollektiv bestand aus 16 Kindern, die keine Fußfehlform aufwiesen, mit einem Durchschnittsalter von 12,44 Jahren (siehe Graphik 3.3). Das Verhältnis von Mädchen zu Jungen betrug 7 : 9. Dieses Kollektiv wurde bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß zur Kontrolle herangezogen um beurteilen zu können, ob die gewonnenen pedographischen und ganganalytischen Ergebnisse denen von gesunden Kindern entsprechen oder ob sich in den gemessenen Ergebnissen nicht korrigierte Klumpfußkomponenten widerspiegeln.

Bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß wurde der zweite, gesunde Fuß zum Vergleich herangezogen.



Grafik 3.3: Altersverteilung der Kontrollgruppe

3.3. Untersuchungsmethoden

3.3.1. Klinische und subjektive Beurteilung

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Patienten nicht nur nach einem festen Schema klinisch untersucht, sondern auch zur ihrem subjektiven Empfinden bezüglich Schmerzen und funktionellen Einschränkungen im täglichen Leben befragt (siehe Anhang 1). Um garantieren zu können, dass bei jedem Patienten dieselben Parameter erhoben wurden, wurde ein Auswertungsbogen angefertigt (siehe Anhang 1).

Des Weiteren wurden die klinischen Befunde bei allen 24 Kindern des Klumpfuß-Kollektivs unter gleichen Bedingungen in gleicher Weise von einem Untersucher erhoben, so dass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist.

Im Folgenden werden die berücksichtigten Untersuchungsparameter, die der Formbeurteilung und Funktionsprüfung dienen, dargestellt [38].

1) Vorfußstellung

Am sitzenden Kind wurde bei rechtwinklig gebeugtem Knie und herabhängendem Unterschenkel sowie, wenn möglich bei Rechtwinkelstellung im oberen Sprunggelenk,

die Vorfußstellung hinsichtlich einer noch verbliebenen Adduktus- oder Supinationskomponente untersucht. Die Adduktion des Fußes wird als Winkel angegeben, um den der Innenrand des Fußes von der Sagittalebene nach einwärts abweicht. Bei Abduktionsstellung des Fußes wurden die gemessenen Winkelgrade mit einem negativen Vorzeichen versehen.

Die Supination des Fußes wird als Winkel angegeben, um den der Vorfuß aus der Horizontalen nach medial aufgedreht ist.

2) Rückfußstellung

Am stehenden Patienten wurde der Winkel zwischen der Vertikalachse des Calcaneus und der Längsachse des Unterschenkels bei Betrachtung von dorsal gemessen. Wicht die Ferse gegenüber der Längsachse der Tibia nach medial ab, lag ein Pes varus vor. Wicht sie jedoch im Valgussinne von der Unterschenkelachse ab, so waren die Winkelgrade mit einem Minuszeichen zu versehen. War diese Abweichung kleiner als 5° , handelte es sich um einen physiologischen Rückfußvalgus, war sie größer 5° , so lag ein Pes valgus vor.

3) Spitzfuß

Bei gebeugtem Kniegelenk und maximaler, passiver Dorsalextension des Fußes wurde die Schwere einer noch verbliebenen Spitzfußstellung beurteilt. Hierzu wurden der fußrückenseitig offene Winkel zwischen der Längsachse des Unterschenkels und der des Fußes bei seitlicher Betrachtung gemessen.

4) Fußgewölbe

Am stehenden Patienten wurde die Höhe des Fußlängsgewölbes, das bei normaler Ausbildung ein wenig vom Boden abgehoben ist, beurteilt. War die Wölbung zu stark ausgebildet, lag weiterhin eine der Komponenten der Klumpfußdeformität vor, nämlich ein Pes excavatus. War hingegen keine Wölbung vorhanden, lag eine Überkorrektur der Hohlfußkomponente vor, die sich in einem Pes planus äußerte.

5) Fußlänge, Oberschenkel- und Wadenumfang

Am stehenden Patienten wurde sowohl auf der linken als auch der rechten Seite der Kniegelenksspalt ertastet und im Abstand von 20 cm und 10 cm oberhalb sowie 15 cm

unterhalb desselben jeweils der Umfang gemessen. Zusätzlich wurden der Umfang an der dünnsten Stelle der Wade und die Fußlänge gemessen. Bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß war so ein Vergleich mit der gesunden Seite möglich.

6) Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk

Die Messung des passiven Bewegungsumfanges im oberen Sprunggelenk erfolgte bei gebeugtem Knie nach der Neutral-0-Methode in Winkelgraden. Das normale Bewegungsausmaß eines oberen Sprunggelenkes ist bei maximaler Dorsalextension und Plantarflexion mit etwa $20^{\circ}/0^{\circ}/40^{\circ}$ bis $30^{\circ}/0^{\circ}/50^{\circ}$ anzugeben.

7) Bewegungsausmaß im unteren Sprunggelenk

Die Messung des passiven Bewegungsumfanges im unteren Sprunggelenk erfolgte unter Fixierung der Ferse mit der einen Hand und Drehung des Vorfußes gegenüber dem Rückfuß mit der anderen Hand. Das so gemessene Bewegungsausmaß der Pronation und Supination im unteren Sprunggelenk wird ebenfalls in Winkelgraden angegeben.

8) Zehenbeweglichkeit

Die Prüfung der Zehenbeweglichkeit gibt Aufschluss darüber, ob eine ausreichende Korrektur der Zehenbeugekontraktur durch die Behandlung erreicht wurde. Die Einschränkung des Bewegungsausmaßes wurde in Bruchteilen ausgedrückt.

9) Gangbild

Die subjektive Beurteilung des Gangbildes erfolgte am barfuß gehenden Patienten. Das Augenmerk war insbesondere auf das Aufsetzen und Abrollen des Fußes sowie auf eine mögliche Einwärtsdrehung des Fußes beim Gehen gerichtet. Abweichungen vom normalen Gang wurden auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert. Zusätzlich wurde geprüft, ob die Kinder den Zehen- und Fersengang ausführen können.

Der Funktionsprüfung dienten weiterhin die Fragen nach der Sportfähigkeit sowie der Belastungsdauer.

Die aus der klinischen Untersuchung und subjektiven Befragung gewonnenen Ergebnisse wurden mit Hilfe des 100-Punktesystems von Magone et al. klassifiziert [65]. Bei dem 1989 eingeführten Bewertungsschema (siehe Anhang 2) wird insbesondere das funktionelle Endergebnis in den Vordergrund gestellt. Dies wird durch

Erhebung von Parametern wie die Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk und die Selbsteinschätzung des Patienten bezüglich Schmerz und Funktion erreicht. Die aufsummierte Punktzahl wird dann wie in Tabelle 3.2 dargestellt bewertet.

<u>Punktzahl</u>	<u>Ergebnis</u>
100 - 90	sehr gut
89 - 80	gut
79 - 70	befriedigend
< 70	schlecht

Tabelle 3.2: Klassifikation nachuntersuchter Klumpfüße anhand des 100-Punktesystems nach Magone et al.

Da im Rahmen der Nachuntersuchung auf Grund der Strahlenbelastung keine aktuellen Röntgenbilder von den Klumpfüßen angefertigt wurden, wurde unter Punkt 6 das passive OSG-Bewegungsausmaß verwendet.

3.3.2. Druckverteilung

3.3.2.1. Messanlage

Zur dynamischen Erfassung und Auswertung der Druckverteilung wurde das Emed-ST (Novel)-Druckaufnahmesystem der Firma Novel GmbH verwendet. Bei diesem System sind kapazitive Sensoren (9 Sensoren/cm²) in robuste Metallplattformen eingelassen, welche mit hoher Geschwindigkeit die lokalen Belastungskräfte messen. Die Sensorsignale werden vom Computer als dynamische Farbbilder dargestellt und ausgewertet. Die Lokalisation sowie die Quantifizierung der maximalen Fußbelastung

sind somit anhand eines Bildes möglich. Nach jeder Messung erfolgt neben der Präsentation der Ergebnisse im farbig codierten Maximalsummenbild deren Darstellung in Zeitverlaufskurven der Kraft, des Maximaldrucks und der benutzten Auftrittfläche.

Mit dem Emed-System können die folgenden Größen gemessen werden:

- Druck (in Newton pro cm^2)
- Zeit (in Sekunden)
- Ort des Druckes (in x/y Koordinaten)

Das in dieser Studie verwendete Emed-ST (Novel)-System beinhaltet folgende technische Daten:

- Sensorfläche (mm): 360x190
- Sensorzahl: 5992
- Auflösung: $9/\text{cm}^2$
- Messfrequenz (Hz): 25
- Druckbereich (N/cm^2): 1-127
- Druckauflösung (N/cm^2): 1

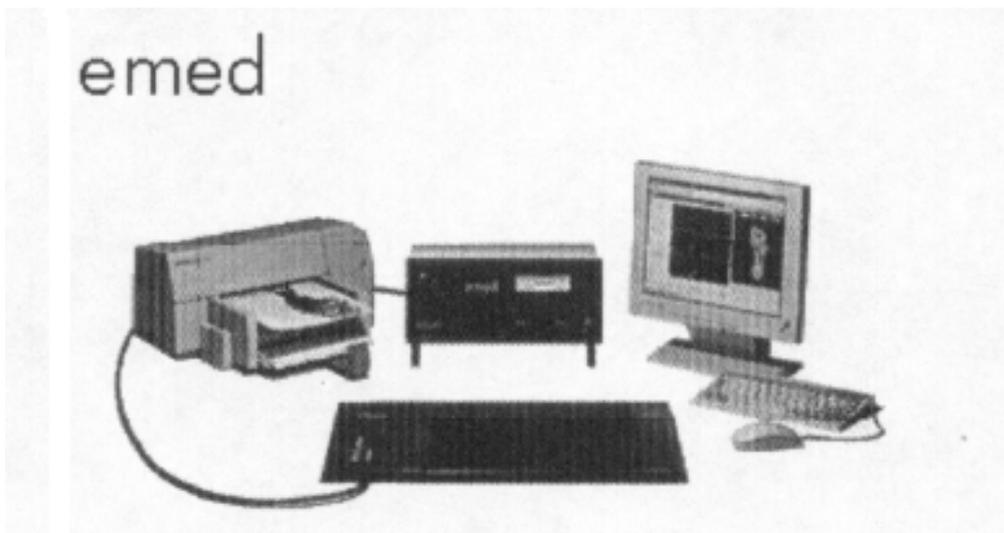


Abbildung 3.1: Messanlage

[entnommen aus Novel Emed Systems, www.novel.de]



Abbildung 3.2: Messplatte

3.3.2.2. Durchführung der Messung

Um während des normalen Gehens die Druckverteilung erfassen zu können, muss der Kontakt der Messplatte zufällig erfolgen, da ein bewusstes Auftreten eine Verfälschung der Messung zur Folge hat. Daher wurde nicht der erste Schritt der Kinder gemessen, sondern ein Verfahren gewählt, bei dem der Kontakt mit der Messplatte erst nach einer Laufstrecke von drei Schritten zufällig erfolgte. Mit Hilfe eines Startschiebers wurde diese Gehstrecke für jedes Kind individuell eingestellt, so dass die Messplatte ohne Beeinflussung der Schrittlänge und des Gehrhythmus` sicher getroffen wurde. Zusätzlich war die in den 5 m langen und 1 m breiten Laufsteg eingelassene Messplatte für die Kinder nicht erkennbar, so dass jede Messung unbeeinflusst war, um die Reproduzierbarkeit der Messung gewährleisten zu können [81]. Bei jedem Kind wurden drei Abdrücke für jeden Fuß aufgezeichnet und die Resultate gemittelt. Die Gehgeschwindigkeit durfte von den Kindern frei gewählt werden. Die Messungen wurden von ein und derselben Person durchgeführt.

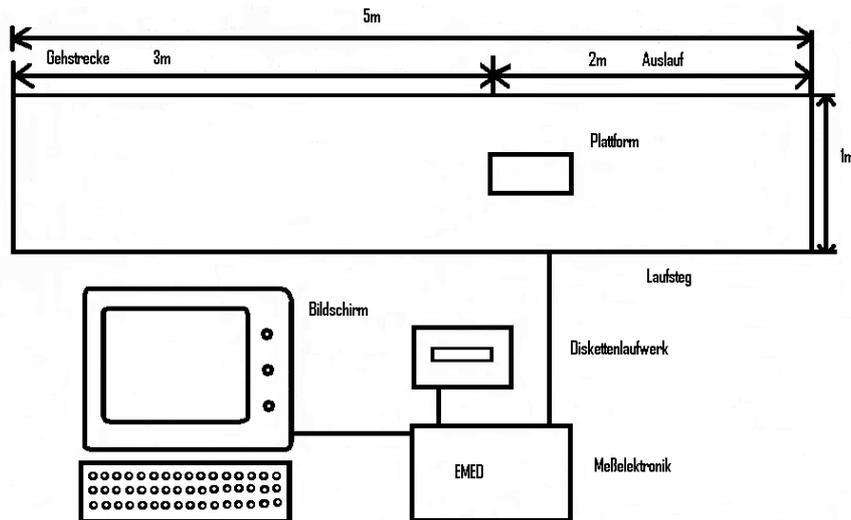


Abbildung 3.3: Schematischer Aufbau der Messanlage

[entnommen aus Schaff et al., „Dynamische Druckverteilungsmessungen unter der Fußsohle, Standardisierung der Pedographie“, Aktuelle Endokrinologie und Stoffwechsel, 8, (1987), 127-131]

3.3.2.3. Auswertungsparameter

Um die gewonnenen Datenfiles analysieren zu können, wurde die novel-win Software verwendet. Die Grundlage der Auswertung bilden die unter 3.3.2.1. genannten drei Parameter aus den Messreihen, d.h.:

1. der Druck, der lokal von jedem Sensor in der Sensormatrix gemessen wird;
2. der Ort, an dem dieser Druck aufgetreten ist (dazu wird ein vom Messsystem abhängiges Koordinatensystem verwendet);
3. der Zeitpunkt, an dem dieser Druckwert gemessen wird.

Aus den Druckwerten und der Sensorgröße lässt sich die Kraft berechnen:

$$\text{Druck} \times \text{Fläche} = \text{Kraft}$$

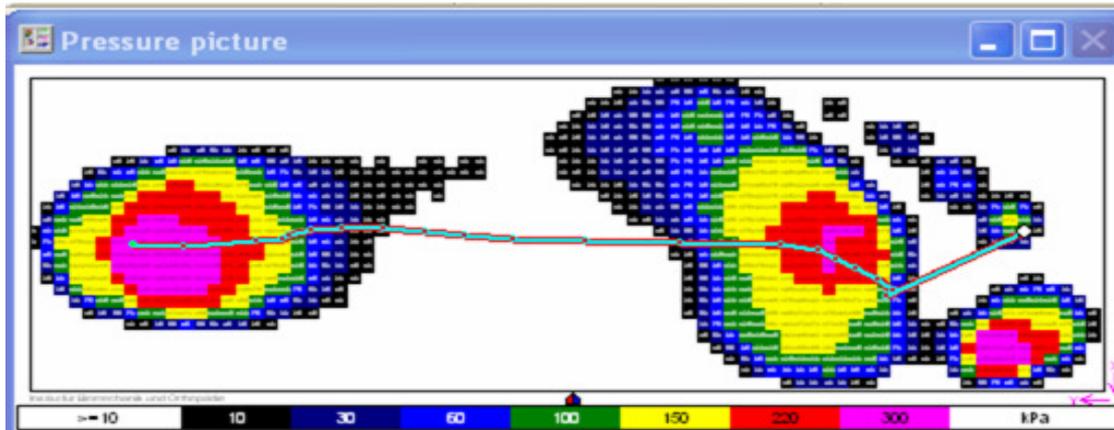
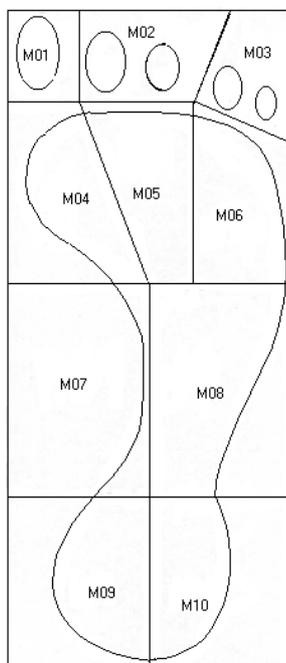


Abbildung 3.4: Fußabdruck eines dynamischen Abrollvorganges. Die Stärke der Belastung an jedem Messpunkt ist anhand des zugeordneten Farbtons zuerkennen.

Die Druckverteilungsbilder wurden durch Einzeichnen einer Maske (Programm Multi-masks der Firma Novel) in die in Abbildung 3.5 dargestellten 10 Bereiche eingeteilt.



- Maske M01: Dig. I
- Maske M02: Dig. II+III
- Maske M03: Dig. IV+V
- Maske M04: Vorfuß (Metatarsale I)
- Maske M05: Vorfuß (Metatarsale II+III)
- Maske M06: Vorfuß (Metatarsale IV+V)
- Maske M07: Mittelfuß medial
- Maske M08: Mittelfuß lateral
- Maske M09: Ferse medial
- Maske M10: Ferse lateral

Maske T0: ganzer Fuß

Abbildung 3.5: Maskeneinteilung der Fußabdrücke

Für jede der oben genannten Masken bzw. für den Gesamtfuß wurden die im Folgenden dargestellten pedographische Parameter ermittelt.

1. Maximaler Druck

Die Maximaldrücke [$\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$] unter dem Fuß während des Abrollvorgangs wurden sowohl für den ganzen Fuß (T0) als auch für die einzelnen Masken M01 – M10 ermittelt. Für jede Maske wurde der Mittelwert für den rechten bzw. den linken Fuß aus den drei aufgezeichneten Durchgängen berechnet.

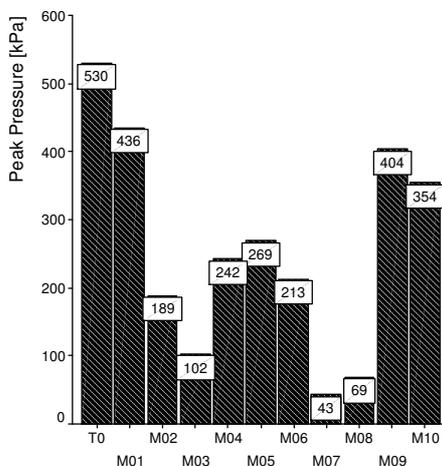
2. Belastete Fläche

Die maximal belastete Fläche [cm^2] unter dem Fuß wurde für die Masken M01 – M10 ermittelt. Für jede Maske wurde der Mittelwert für den rechten bzw. den linken Fuß aus den drei aufgezeichneten Durchgängen berechnet.

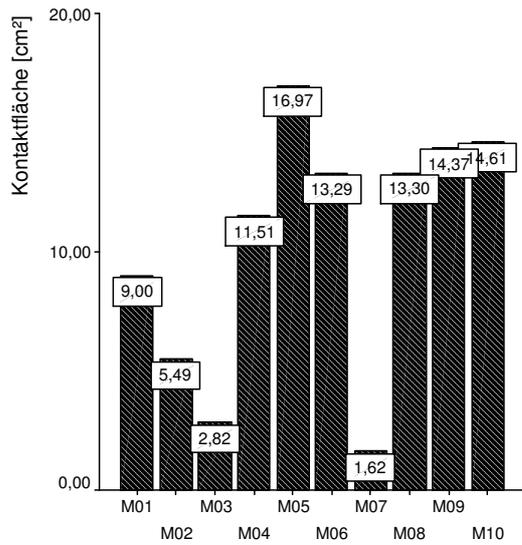
3. Spitzenkraft

Die Spitzenkraft wurde in Prozent-Körpergewicht [% KG] für die Masken M01 – M10 analysiert. Dies erlaubt einen Vergleich der Werte unabhängig vom Körpergewicht der Kinder. Für jeden Fuß wurden die Werte aus den drei Messungen für jede Maske zu einem Mittelwert zusammengefasst.

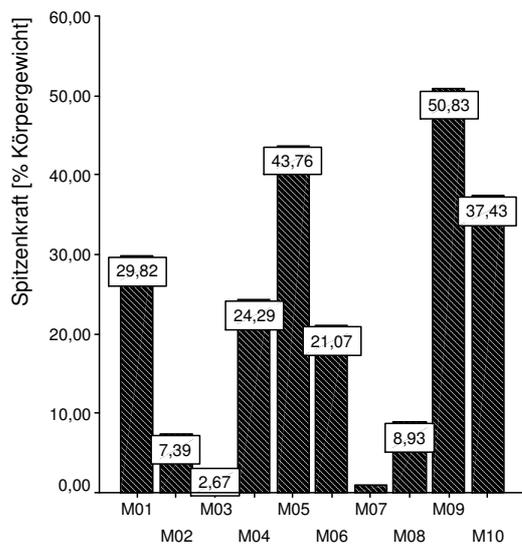
Für das Kontrollkollektiv, d.h. für gesunde Füße, ergaben sich die in den Grafiken 3.4 bis 3.6 dargestellten Parameter. Die Werte der Kontrollgruppe wurden hierbei für die rechte Seite gemittelt.



Grafik 3.4: Mittelwerte des Maximaldruckes innerhalb der definierten Masken beim Kontrollkollektiv.



Grafik 3.5: Mittelwerte der Kontaktflächen innerhalb der definierten Masken beim Kontrollkollektiv (Mittelwert T0: 103,55 cm²).



Grafik 3.6: Mittelwerte der Spitzenkraft innerhalb der definierten Masken beim Kontrollkollektiv (Mittelwert T0: 118,73 % KG).

3.3.3. Ganganalyse

3.3.3.1. Messanlage

Die Ganganalyse erfolgte mit Hilfe des VICON 624-Bewegungsanalyse-System der Firma Oxford-Metrics, mit dem Bewegungssequenzen aufgezeichnet und anschließend interaktiv am Bildschirm ausgewertet wurden (siehe Abb. 3.6 und Abb. 3.7). Das VICON-System basiert auf der Reflexion von Infrarotstrahlen durch passive Reflexionsmarker, die am Körper der Probanden befestigt werden (siehe Kap. 3.3.3.2.). Die Lage der Marker im Raum wurde durch 12 Infrarot-Stroboskop-Kameras (Bildfrequenz 50Hz), die kreisförmig um den Messraum angeordnet sind, erfasst. Aus den entstandenen Video-Daten ist die Rekonstruktion von 3D-Bewegungsspuren eines jeden Markers mit spezieller Software möglich. Zur Messung der Bodenreaktionskräfte (externe Kräfte) wurden zwei Kraftmessplatten der Firma Kistler Instrumente GmbH verwendet, die in dem Laufsteg eingelassen waren. Die Signale der Kraftmessplatten wurden mit einer Frequenz von 120 Hz abgetastet.

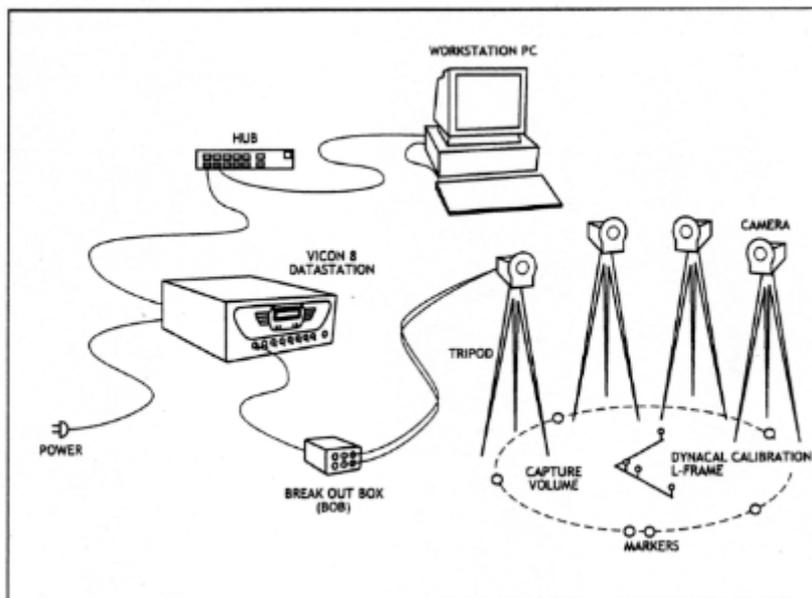


Abbildung 3.6: Block diagram of the Vicon system-Workstation to network hub to Datastation to breakout box to cameras around a volume defined by markers with L-Frame in centre
[entnommen aus Vicon Clinical Manager – User Manual, Oxford Metrics Limited]



Abbildung 3.7: Ganglabor mit VICON 624-Bewegungsanalyse-System mit 12 Infrarot-Stroboskop-Kameras

3.3.3.2. Durchführung der Messung

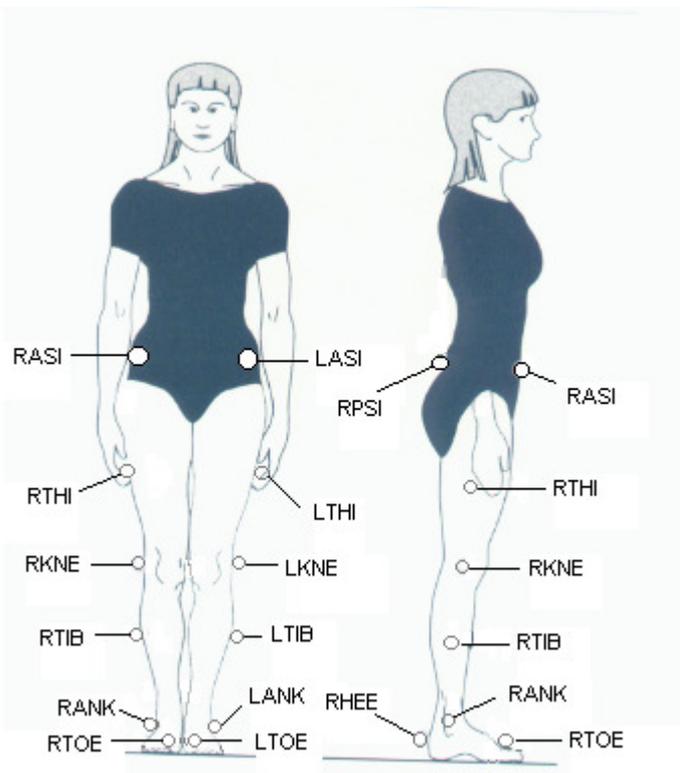
Um mit Hilfe des VICON 624-Bewegungsanalyse-Systems Bewegungssequenzen im dreidimensionalen Raum darstellen zu können, müssen an bestimmten Positionen des Körpers der Testperson passiv reflektierende Kugeln, so genannte Marker (siehe Abb. 3.8), befestigt werden. Die in dieser Studie verwendeten Marker hatten einen Durchmesser von 25 mm. Sie wurden an den Stellen mittels doppelseitigem Klebeband fixiert, an denen während des Bewegungsablaufes die geringsten Hautverschiebungen relativ zu den anatomisch definierten Skelettpunkten auftraten.



Abb. 3.8: Passive, Licht reflektierende Marker.

Bei der Auswahl der Markerpositionierung muss einerseits berücksichtigt werden, dass kinematisch und anatomisch wichtige Punkte zur Darstellung und Analyse der zu untersuchenden Gelenkabschnitte markiert werden und dass andererseits während der Messungen möglichst keine Überdeckungen auftreten [53; 76].

In Abbildung 3.9 ist die in dieser Studie verwendete Markerpositionierung dargestellt.



- **RASI/LASI**
=> Spina iliaca ant.sup. (re./li.)
- **RPSI/LPSI**
=> Spina iliaca post.sup. (re./li.)
- **RTHI/LTHI**
=> Rotationsmarker am lateralen Oberschenkel
- **RKNE/LKNE**
=> Knie- Epicondylus lat. (re./li.)
- **RTIB/LTIB**
=> Rotationsmarker an der lateralen Tibia
- **RANK/LANK**
=> Malleolus lateralis (re./li.)
- **RTOE/LTOE**
=> Os metatarsale II (re./li.)
- **RHEE/LHEE**
=> Ferse-Calcaneus (re./li.)

Abb. 3.9: Markerpositionierung

[modifiziert nach Perry, Gait analysis, Thorofare, SLACK
sowie nach Vicon Clinical Manager – User Manual]

Zur Reduzierung interindividueller Versuchsfehler wurden alle Messungen sowie die damit verbundenen Markerpositionierungen von ein und derselben Person durchgeführt [52]. Jeder Marker muss immer von mindestens zwei Kameras erfasst werden, um dessen 3D-Koordinaten bestimmen zu können. Durch die Verwendung von zwölf Kameras trat das Problem von Markerüberdeckungen durch sich bewegende Körperteile praktisch nicht auf [76]. Fehler durch unterschiedliche Markerpositionierung waren ausgeschlossen, da alle Marker vor Versuchsbeginn einmalig am Körper der Kinder

befestigt wurden [52]. Vor jeder Messreihe wurde die relative Position der Kameras durch ein dreidimensionales Kalibrationssystem bestimmt (siehe Abb. 3.10). Die starre Fixierung der Kameras verminderte die Notwendigkeit von häufigen Kalibrationen.



Abbildung 3.10: Dynacal Calibration L-Frame

Vor der Messung der standardisierten Parametern der Ganganalyse mussten zur individuellen Einstellung des 7-Segment-Modells des Unterkörpers auf die Proportionen der Probanden bestimmte anthropometrische Daten wie Körpergröße und Gewicht, sowie für jede Seite Beinlänge, Knie- und Fußgelenksdurchmesser erfasst und in der VCM-Software festgehalten werden [92]. Zusätzlich erfolgte vor der dynamischen Ganganalyse eine statische Messung, bei der das Kind aufgefordert wurde, für einen Moment ruhig im Kalibrationszentrum zu stehen. Mit Hilfe dieser Aufzeichnung wurde kontrolliert, ob jeder Marker von den Kameras erfasst wurde und somit unter Einbeziehung der oben erwähnten anthropometrischen Maße eine Rekonstruktion des Unterkörpers mittels Strichfigur auf dem Bildschirm möglich war [92]. Im Anschluss an eine Gewöhnungszeit, in der mit Hilfe von einer Bodenmarkierung der optimale Startplatz zum sicheren Treffen der beiden Kraftmessplatten ermittelt wurde, wurden je fünf gültige Versuche barfuß mit selbst gewählter, als komfortabel empfundener Gehgeschwindigkeit über die standardisierte Versuchsstrecke aufgezeichnet und in die Auswertung genommen [52]. Für einen gültigen Versuch durften weder eine der beiden Plattformen übertreten werden noch eine Veränderung der Ganggeschwindigkeit erkennbar sein. Abbildung 3.11 zeigt die Durchführung einer Messung.



Abbildung 3.11: Durchführung einer Messung mit angelegten Markern

Nach weitestgehend automatischer Zuordnung der Marker kann in einem 3D-Modell, das auf der Übertragung der gewonnenen Daten auf ein virtuelles Skelett beruht, der gesamte Bewegungsablauf visualisiert und animiert sowie aus allen gewünschten Blickrichtungen betrachtet und interaktiv am Bildschirm ausgewertet werden (siehe Abb.3.12).

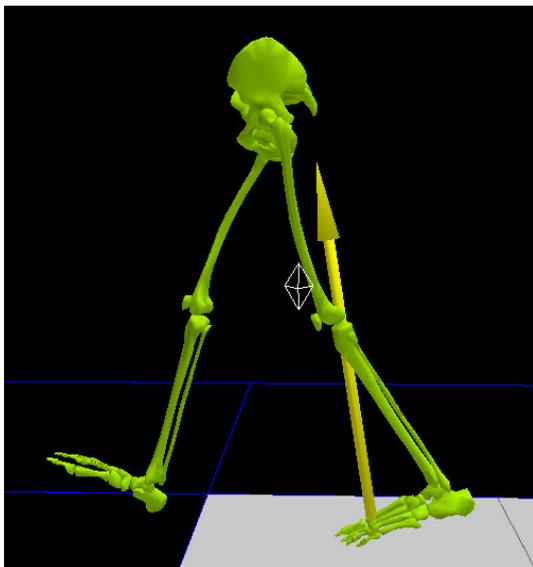


Abbildung 3.12: Der Gang eines Probanden kann, nach Messung und anschließender Weiterverarbeitung der Daten auf dem Bildschirm, als Bewegung seines Knochenbaus dargestellt werden.

Die computergestützte Bewegungsanalyse wird durch Umstände, wie beispielsweise das Schwingen der Hand an der Hüfte entlang oder übermäßige Rotation, erschwert, die die Marker vor den Kameras verdecken. Daher war nach den Messungen teilweise eine manuelle Nachbearbeitung zur korrekten Identifikation der Markertrajektorien erforderlich, bevor die kinematischen Parameter berechnet werden konnten. Nach erfolgter Korrektur wurde jeder der fünf Gänge so zugeschnitten, dass jeweils eine Sequenz von drei Schritten zur Auswertung kam. Anschließend wurde für jedes Kind der Mittelwert sowohl für das linke als auch das rechte Bein aus den fünf zugeschnittenen Sequenzen berechnet [53]. Nach der Mittelung und deren interaktiven Bestätigung erfolgte die kinematische Parameterberechnung automatisch mit Hilfe der VCM-Software.

Die Werte der Kontrollgruppe für die rechte und linke Seite sind gemittelt und für jeden Parameter als ein Wert seitenunabhängig dargestellt.

3.3.3.3. Auswertungsparameter

Die Erfassung des räumlichen Verlaufs der optischen Marker während der einzelnen Messungen ermöglicht die Gewinnung einer Vielzahl von Parametern. Für die kinematische Analyse wurde der Körper durch ein 7-Segment-Modell repräsentiert (siehe Abb. 3.12). Die kinemetrischen Daten beziehen sich auf die Bewegung des Hüft-, Knie- und Sprunggelenks in der Sagittalebene sowie sich daraus ergebende Größen eines Gangzyklus.

Die gemessenen Parameter sind zeitnormiert, bezogen auf die Dauer eines Gangzyklus. Die dynamometrischen Parameter in F_x -, F_y - und F_z - Richtung sind normiert auf das Körpergewicht sowie zeitnormiert, bezogen auf die Dauer eines Bodenkontaktes.

Allgemeine ganganalytische Parameter

Die Schwungzeit und Standzeit wird zeitnormiert in Prozent des Gangzyklus sowie im Verhältnis Schwungzeit/Standzeit in Prozent dargestellt. Weitere kinemetrische

Parameter wie die Schrittlänge werden aus der Entfernung vom Ende der Standphase (toe-off) bis zum Beginn der folgenden Standphase des Gegenbeins ermittelt.

Die Kadenz beschreibt die Anzahl der Schritte pro Sekunde.

Kinemetrische Parameter der Hüfte

Für die Hüfte werden der minimale (A) und maximale Gelenkwinkel (B) sowie der gesamte Bewegungsumfang (C) berechnet (siehe Abb. 3.13).

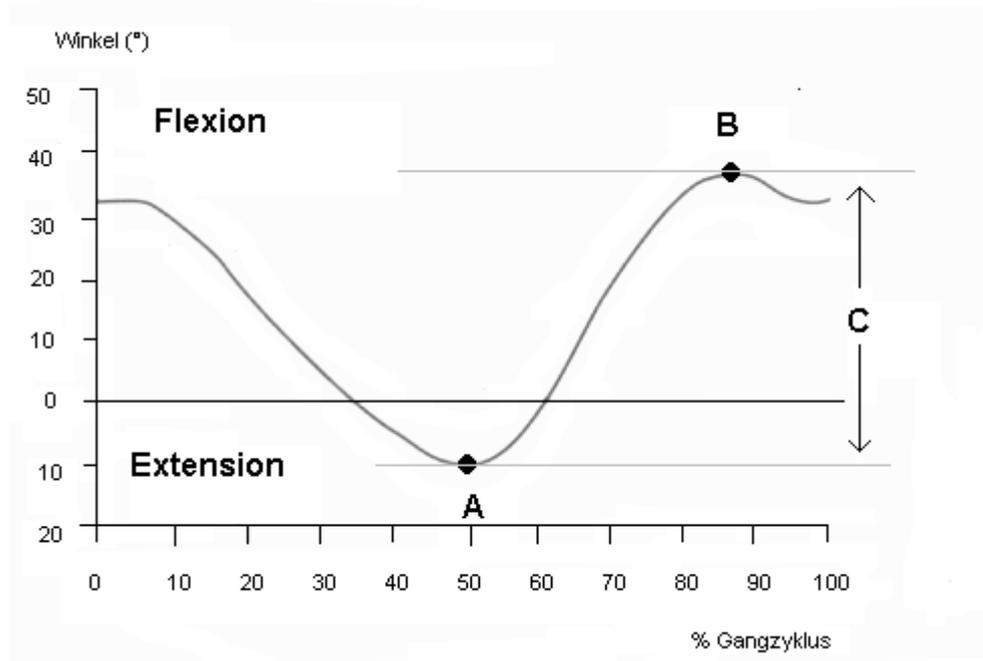


Abbildung 3.13: Kinemetrische Parameter des Hüftgelenks und ihre zeitliche Zuordnung

[modifiziert nach Perry, Gait analysis, Thorofare, SLACK]

Kinemetrische Parameter des Kniegelenks

Die maximalen (A) und minimalen (B) Gelenkwinkel werden für die Stand- bzw. Schwungphase (C und D) zeitnormiert dargestellt. Der maximale Bewegungsumfang (E) wird aus einem kompletten Gangzyklus ermittelt (siehe Abb. 3.14).

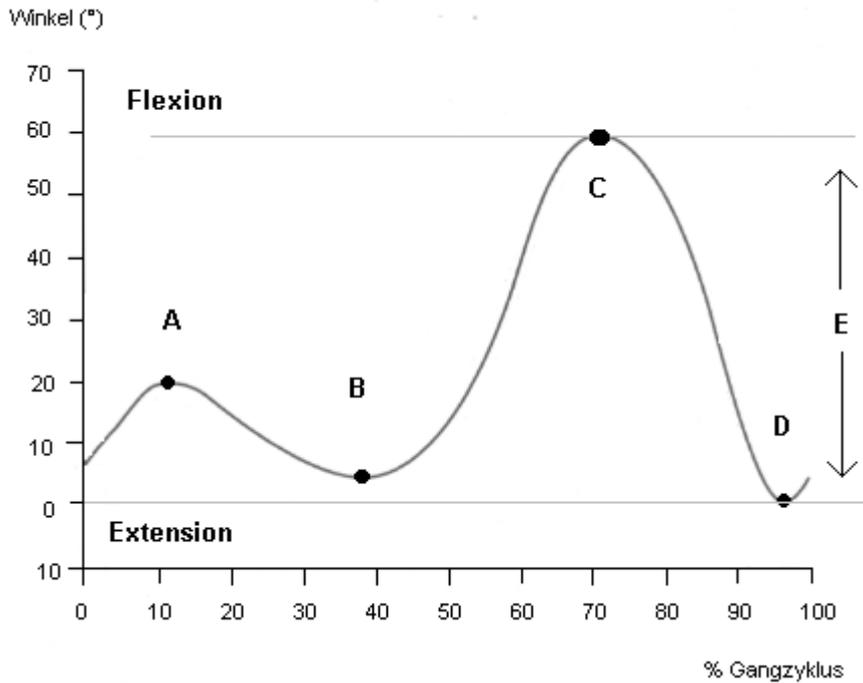


Abbildung 3.14: Kinemetrische Parameter des Kniegelenkwinkels und ihre zeitliche Zuordnung
[modifiziert nach Perry, Gait analysis, Thorofare, SLACK]

Kinemetrische Parameter des Sprunggelenks

Für das Sprunggelenk werden minimale (A) und maximale (B) Gelenkwinkel in Stand- und Schwungphase (C und D) sowie der maximale Bewegungsumfang (E) zeit- und positionsbezogen dargestellt (siehe Abb. 3.15).

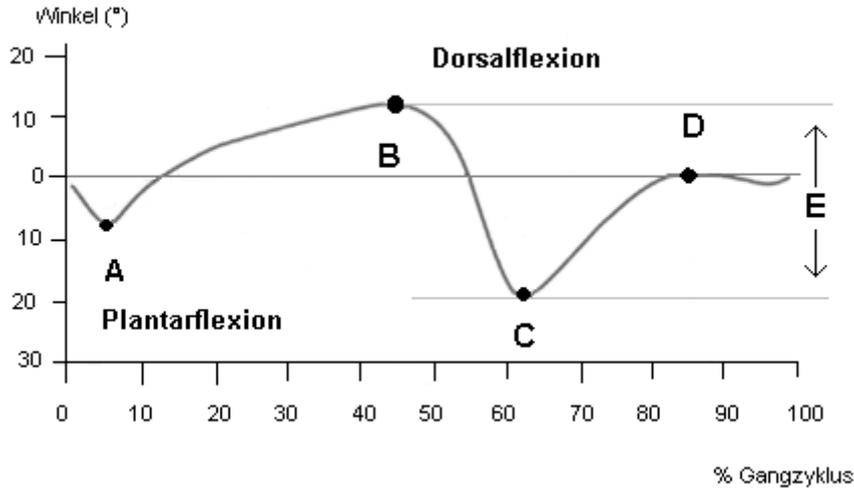


Abbildung 3.15: Kinemetrische Parameter des Sprunggelenks und ihre zeitliche Zuordnung
[modifiziert nach Perry, Gait analysis, Thorofare, SLACK]

3.4. Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 11.5.1 für Windows.

Im Rahmen der quantitativen Evaluierung der Daten wurden hauptsächlich der Test auf Normalverteilung und der t-Test für verbundene und unverbundene Stichproben auf Signifikanz angewendet. Bei letzterem wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% als Signifikanzschwelle festgelegt.

Eingesetzte Signifikanzniveaus: $p > 0,05 \rightarrow$ nicht signifikant
 $P \leq 0,05 \rightarrow$ signifikant

Lag keine Normalverteilung der zu untersuchenden Stichprobe vor, erfolgte die statistische Absicherung mit Hilfe des Wilcoxon-Tests. Dieser stellt das nicht parametrische Pendant des verkürzten t-Tests dar.

4. Ergebnisse der Untersuchung

4.1. Subjektive Beurteilung und klinische Untersuchung

4.1.1. Subjektive Beurteilung

Im Rahmen der subjektiven Beurteilung des Behandlungserfolges durch die Kinder wurden die Gesichtspunkte Schmerz und funktionelle Einschränkungen im täglichen Leben berücksichtigt. In Bezug auf die Frage nach dem Auftreten von Schmerzen ergaben sich die in Tabelle 4.1 dargestellten Ergebnisse.

Wann treten Schmerzen auf?	Anzahl der Füße	Prozent
Nie	24	75,0
Bei großer Aktivität	7	21,9
Bei normaler Aktivität	1	3,1
Beim Gehen/ in Ruhe	0	0

Tabelle 4.1: Auftreten von Schmerzen

19 Kinder (dies entspricht 75% aller Füße) sind absolut schmerzfrei. Neben dieser Gruppe klagten weitere 4 Kinder nur während starker Belastungen über Schmerzen. Lediglich 1 Kind in diesem Untersuchungskollektiv gab an, im täglichen Leben bei normalen Aktivitäten durch Schmerzen beeinträchtigt zu sein. Ruheschmerzen oder Schmerzen beim Gehen wurden von keinem Kind angegeben (siehe Tab. 4.1).

Die Einschätzungen in Hinsicht auf die Funktionsfähigkeit bzw. Belastbarkeit sowie Belastungsdauer des Fußes zeigen die Tabellen 4.2 und 4.3.

Wie ist die Funktionsfähigkeit/ Belastbarkeit des Fußes?	Anzahl der Füße	Prozent
Keine Einschränkungen	21	65,6
Einschränkung bei starker Belastung (Sport)	10	31,3
Einschränkung bei Alltagsbelastungen	1	3,1
Einschränkung der Gehfähigkeit	0	0

Tabelle 4.2: Subjektive Beurteilung der Funktion bzw. Belastbarkeit des Fußes

Die Befragung der Kinder bezüglich ihrer subjektiven Beurteilung der Funktion bzw. der Belastbarkeit ergab, dass 16 Kinder weder während sportlicher Aktivitäten noch im täglichen Leben Einschränkungen unterliegen. Sie gaben weiterhin an, die gleichen Leistungen erbringen zu können wie ihre Mitschüler. 7 der untersuchten Kinder berichteten, dass sie bei starken Belastungen, wie z.B. 800m-Lauf oder 3 Stunden Fußball spielen, eingeschränkt seien. Nur 1 Kind klagte darüber, bei Alltagsbelastungen Einschränkungen zu unterliegen. Es könne keine längeren Distanzen zu Fuß zurücklegen und würde im Vergleich zu Gleichaltrigen früher beim Sport ermüden bzw. könne manche Sportarten gar nicht ausüben. Die normale Gehfähigkeit war bei keinem der untersuchten Kinder eingeschränkt (siehe Tab. 4.2).

16 Kinder gaben an, neben dem Schulsport in ihrer Freizeit weitere Sportarten auszuüben. Hierbei ergab sich ein breit gefächertes Spektrum bis hin zur Teilnahme an Wettkämpfen. Dies lässt darauf schließen, dass Kinder mit gut therapierten Klumpfüßen in der Auswahl ihrer Sportarten und Freizeitgestaltung gesunden Gleichaltrigen in nichts nachstehen.

Wie ist die Belastungsdauer?	Anzahl der Füße	Prozent
Begrenzt	6	18,75
Unbegrenzt	26	81,25

Tabelle 4.3: Beurteilung der Belastungsdauer des Fußes

Nur 4 Kinder gaben an, dass ihre Belastungsdauer schmerzbedingt begrenzt sei. Der Großteil der Kinder erklärte, dass er ohne zeitliche Begrenzung sowohl Alltagsbelastungen als auch sportlichen Aktivitäten nachgehen könne (siehe Tab. 4.3). Weder die Einschränkung des Bewegungsausmaßes noch, wie in einem Fall berichtet, das Auftreten von Schmerzen bei starker Belastung hindere sie daran, mit ihren Schulkameraden in Hinsicht auf die Belastungsdauer mitzuhalten.

Abschließend konnten die Kinder ein Gesamturteil, gemessen an dem Grad ihrer Zufriedenheit bezüglich des Behandlungsergebnisses, abgeben (siehe Tab. 4.4).

Grad der Zufriedenheit	Anzahl der Füße	Prozent
Zufrieden	24	75,0
Teilweise zufrieden	8	25,0
Unzufrieden	0	0

Tabelle 4.4: Zufriedenheit über das Behandlungsergebnis

19 Kinder waren mit dem Ergebnis zufrieden. Die restlichen 8 Kinder zeigten sich mit dem Behandlungserfolg nur teilweise zufrieden (siehe Tab. 4.4). Es stellte sich heraus, dass bei jedem dieser Kinder entweder die Funktion oder die Belastungsdauer eingeschränkt waren. Des Weiteren klagten 3 von ihnen über Schmerzen während großer Belastungen. Keines der untersuchten Kinder war mit dem Ergebnis unzufrieden.

4.1.2. Klinische Beurteilung nach Magone

In dem Bewertungsschema nach Magone wird neben der subjektiven Beurteilung besonders die Form sowie das funktionelle Endergebnis betont [66].

Aus der Tabelle 4.5 sind die Häufigkeiten der verschiedenen Fußformen zu entnehmen. Dabei lag eine "normale" Fußform nur bei $n = 4$ Fällen vor. Bei den restlichen $n = 28$ lag nur eine Deformität vor. Das Auftreten von mehreren Fußfehlstellungen gleichzeitig wurde bei keinem der untersuchten Kinder festgestellt.

Die am häufigsten auftretende Deformität ist mit $n = 25$ die Adductusstellung des Vorfußes, die jedoch in ihrer Ausprägung stark variiert. Der Grad der Ausprägung reicht hierbei von einer leichten Adductustendenz, wie sie auch in manchen Fällen bei “guten“ Ergebnissen zusehen ist, bis hin zu einer schwere Deformität bei “schlechten“ Füßen. Des Weiteren zeigte sich bei $n = 3$ ein Hohlfuß. Weder konnte bei den untersuchten Kindern ein Spitzfußrezidiv noch eine Varusstellung der Ferse beobachtet werden. Jedoch wiesen $n=17$ einen Rückfußvalgus, also eine Überkorrektur im Rückfußbereich, auf.

Fußform	Anzahl der Füße	Prozent
Normale Fußform	4	12,5
Vorfußadductus	25	78,1
Hohlfuß	3	9,4
Spitzfuß	0	0
Rückfußvarus	0	0
Rückfußvalgus	17	53,1

Tabelle 4.5: Häufigkeitsverteilung residueller Fußdeformitäten

Im Score nach Magone wird als wichtigstes Merkmal zur Beurteilung der Fußform das Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk bestimmt. Hierbei ist insbesondere die Dorsalextension ein Maß für die Korrektur des Fußes, da sie einerseits Aufschluss darüber gibt, ob und in welchem Umfang die Equinuskomponente beseitigt wurde, und andererseits angibt, ob eine ausreichende Achillotenotomie durchgeführt worden ist. Ein gesunder Fuß sollte zu einer Dorsalextension bis 20° fähig sein. Negative Werte sprechen für ein Spitzfußrezidiv. Dies war bei keinem Kind der Fall. Jedoch waren $n = 13$ Klumpfüße zu keiner Dorsalextension in der Lage, d.h. der gemessene Wert betrug 0° . Die Untersuchungsergebnisse wurden in die vorgegebenen 5 Gruppen eingeteilt, anhand derer die Punktevergabe im Rahmen des Magone- Score erfolgt (siehe Tab. 4.6).

Bewegungsausmaß in Winkelgraden	Anzahl der Füße	Prozent
> 40°	0	0
31° - 40°	2	6,3
21° - 30°	13	40,6
11° - 20°	15	46,9
< 11°	2	6,3

Tabelle 4.6: Bewegungsausmaß im OSG

Die Untersuchungen ergaben, dass das volle Bewegungsausmaß bei keinem Fuß vorhanden war. Eine geringe Einschränkung der Beweglichkeit, d.h. ein Bewegungsausmaß zwischen 31° - 40°, konnte ebenfalls nur bei einem geringen Prozentsatz (6,3 %) festgestellt werden. Am häufigsten war, mit $n = 13$ und $n = 15$ der Füße, eine bleibende Einschränkung des Bewegungsumfanges des OSG auf 21° - 30° bzw. auf 11° - 20° zu verzeichnen. Eine Schmälerung der Beweglichkeit auf unter 11° wurde in $n = 2$ der Fälle gemessen. Alle Kinder konnten den Fersengang vorführen, der zur Beurteilung der Funktion zu überprüfen war. Des Weiteren waren 21 Kinder in der Lage auf den Zehenspitzen zugehen. Nach abgeschlossener Punktevergabe für die im Magone-Score zu beurteilenden Kriterien und anschließender Addition der erzielten Punkte zeigte sich, dass an keinen der untersuchten Füße die volle Punktzahl, wie sie bei gesunden Füßen erreicht wird, vergeben werden konnte.

Die höchste Punktzahl, die bei dem untersuchten Kollektiv erzielt wurde, lag im Durchschnitt bei 64 ± 4 . Demgegenüber erreichte das schlechteste Ergebnis durchschnittlich 64 ± 2 Punkte.

Tabelle 4.7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse der klinischen Beurteilung nach Magone. $N = 13$ der untersuchten Füße sind demnach mit "gut" bewertet. Addiert man zu dieser Gruppe die als "befriedigend" beurteilten Füße, so bleiben $n = 5$, bei denen das Behandlungsergebnis als mangelhaft angesehen werden muss.

Ergebnis	Anzahl der Füße	Prozent
Sehr gut	0	0
Gut	13	40,6
Befriedigend	14	43,8
Schlecht	5	15,6

Tabelle 4.7: Ergebnisse der klinischen Beurteilung nach Magone

Eine Verschmälerung der Wade ist bei allen betroffenen Füßen, auch bei denen mit ansonsten gut korrigierter Form, lebenslang zu finden [38]. Aus den gemessenen Wadenumfängen wurde die Differenz zwischen dem rechten und dem linken Bein gebildet. Zur besseren Vergleichbarkeit dieser Differenzen untereinander wurde errechnet, um wie viel Prozent die schwächere Klumpfußwade schlanker ist als die dickere Wade der gesunden Gegenseite. Der Unterschied der Wadenumfänge zwischen Klumpfuß- und normaler Seite lag in dem untersuchten Kollektiv zwischen 6,94 – 24,07 %. Im Durchschnitt lag eine signifikante Verschmälerung der erkrankten Seite um 15,29 % im Vergleich zur gesunden Gegenseite vor ($p = 0,000$). Bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß war die dünnere Wade mit durchschnittlich 1,93 % nicht signifikant schmaler als die dickere Gegenseite ($p = 0,236$). Die Messung der Fußlängen ergab bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß einen Unterschied zur gesunden Gegenseite von 0 – 15,38 %, wobei der operierte Fuß mit durchschnittlich 7,16 % signifikant kürzer war ($p = 0,001$). Bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß konnte kein signifikanter Längenunterschied zwischen den beiden Füßen nachgewiesen werden ($p = 0,129$). Es lag jedoch eine signifikante Verkürzung der Fußlänge der beidseitigen Klumpfüße im Vergleich zum Kontrollkollektiv um durchschnittlich 5,92 % vor ($p = 0,017$).

	Differenz Wadenumfang* [%] 15 cm unterhalb des Kniegelenkspalts			Differenz Fußlänge* [%]		
	Min.	Max.	Mittelwert	Min.	Max.	Mittelwert
Einseitiger KF	6,94	24,07	15,29	0	15,38	7,16
Beidseitiger KF	0	4,35	1,93	0	4,35	1,85

Tabelle 4.8: Wadenumfangs- und Fußlängendifferenz

*die Prozentzahl bezieht sich auf den relativen Unterschied zwischen der schwächeren Klumpfußwade und der dickeren Waden der gesunden Gegenseite bzw. dem operierten und dem gesunden Fuß bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß.

Bei Kindern mit beidseitigem Klumpfuß bezieht sich die Prozentzahl auf den Unterschied zwischen der dünneren und der dickeren Wade bzw. zwischen dem kürzeren und dem längeren Fuß.

Den Tabellen 4.9 bis 4.11 ist zu entnehmen, inwieweit die subjektive Beurteilung des Behandlungsergebnisses durch die Kinder und die objektive Beurteilung mit Hilfe des Bewertungsschemas nach Magone korrelieren.

Schmerzen	Beurteilung nach Magone				Gesamt
	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Schlecht	
Nie	0	11	11	2	24
Bei starker Belastung	0	2	3	2	7
Bei alltäglichen Belastungen	0	0	0	1	1
Beim Gehen /In Ruhe	0	0	0	0	0

Tabelle 4.9: Vergleich der Ergebnisse der klinischen Beurteilung nach Magone mit der subjektiven Schmerzempfindung

Funktion	Beurteilung nach Magone				Gesamt
	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Schlecht	
Keine Einschränkung	0	13	7	1	21
Einschränkung bei starker Belastung	0	0	7	3	10
Einschränkung bei Alltagsbelastungen	0	0	0	1	1
Einschränkung der Gehfähigkeit	0	0	0	0	0

Tabelle 4.10: Vergleich der Ergebnisse der klinischen Beurteilung nach Magone mit der subjektiven Bewertung der Funktion

Zufriedenheit	Beurteilung nach Magone				Gesamt
	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Schlecht	
Zufrieden	0	11	11	2	24
Teilweise Zufrieden	0	2	3	3	8
Unzufrieden	0	0	0	0	0

Tabelle 4.11: Vergleich der Ergebnisse der klinischen Beurteilung nach Magone mit der persönlichen Zufriedenheit bezüglich des Behandlungsergebnisses

Insgesamt ist festzustellen, dass sowohl die Schmerzempfindung als auch die Einschätzung der Funktion und die Zufriedenheit, insbesondere bei den Wertungsstufen "gut" und "schlecht", mit den klinischen Ergebnissen übereinstimmen. Speziell die als "gut" befundenen Füßen erzielten auch bei den subjektiven Beurteilungen die besten Resultate. Lediglich in einem Fall mit ehemals beidseitigem Klumpfuß wurden Schmerzen während großer Belastungen angegeben und man zeigte sich daher mit dem Ergebnis nur bedingt zufrieden (siehe Tab. 4.9 und 4.11). Ebenso schnitten die als "schlecht" beurteilten Füßen in der subjektiven Einschätzung hinsichtlich Funktion und Schmerzen am schlechtesten ab, so dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen subjektiver Beurteilung und klinischer Untersuchung besteht. Dennoch waren 2 Kinder

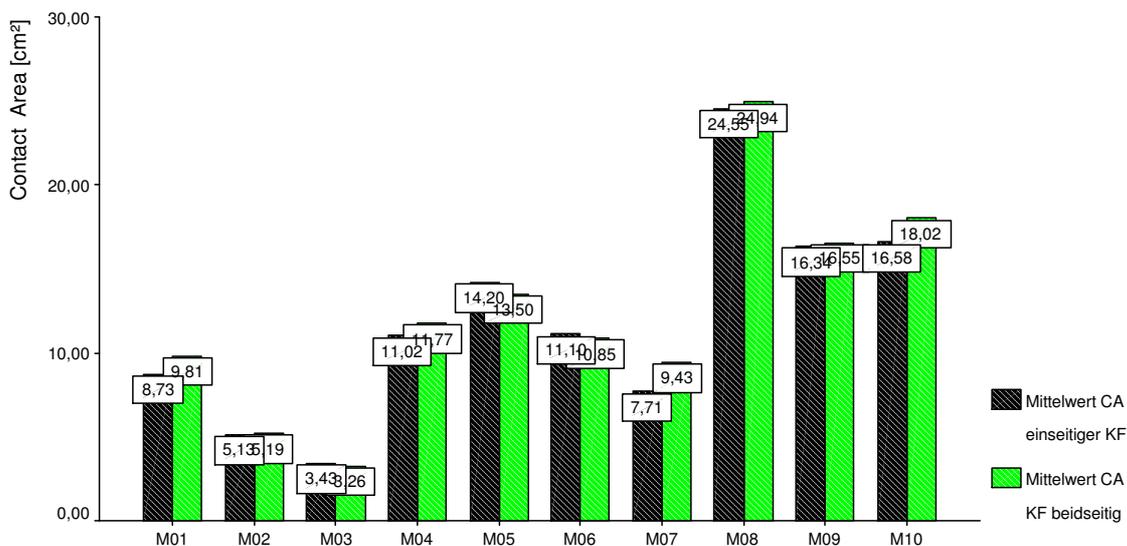
aus dieser Gruppe mit dem Ergebnis zufrieden (siehe Tab. 4.9 – 4.11). Bei den als “befriedigend“ beurteilten Füßen gab es wie bei den „guten“ Füßen nur einen geringen Anteil (2 Kinder mit n = 3 Füßen), der über Schmerzen bei starken Belastungen klagte (siehe Tab. 4.9). Vielmehr wurde von dieser Gruppe die nicht ausreichende Funktion beanstandet. Insgesamt war bei 50 % der Fälle der als “befriedigend“ eingestuften Füße die Funktion unter starken Belastungen eingeschränkt (siehe Tab. 4.10). Dies war jedoch nur bei 2 Kindern (n = 3 Füße) ausschlaggebend sich mit dem Ergebnis als bedingt zufrieden zu zeigen (siehe Tab. 4.11).

4.2. Pedobarographie

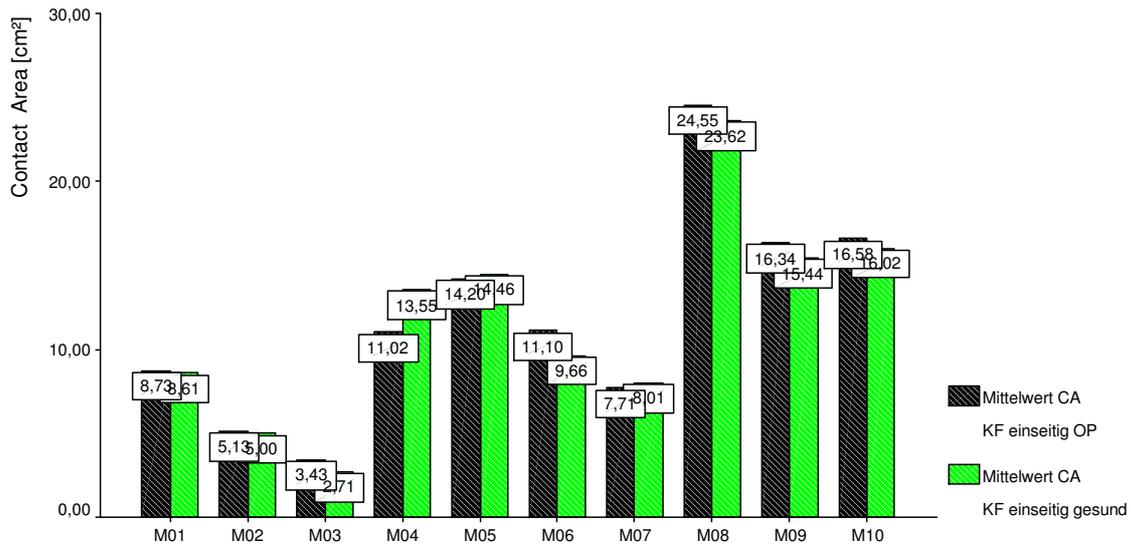
4.2.1. Kontaktfläche Fußsohle

Die Kontaktfläche der ganzen Fußsohle (T0) mit der EMED-Messplatte betrug bei den 32 untersuchten Klumpfüßen im Mittel 119,71 cm².

Für die definierten Fußbereiche M01 bis M10 wurden bei den 32 untersuchten Klumpfüßen durchschnittlich die in Graphik 4.1 wiedergegebenen Kontaktflächen ermittelt.



Graphik 4.1: Durchschnittliche Kontaktflächen der einzelnen Fußbereiche M01 bis M10 der untersuchten Klumpfüße mit der EMED-Messplatte

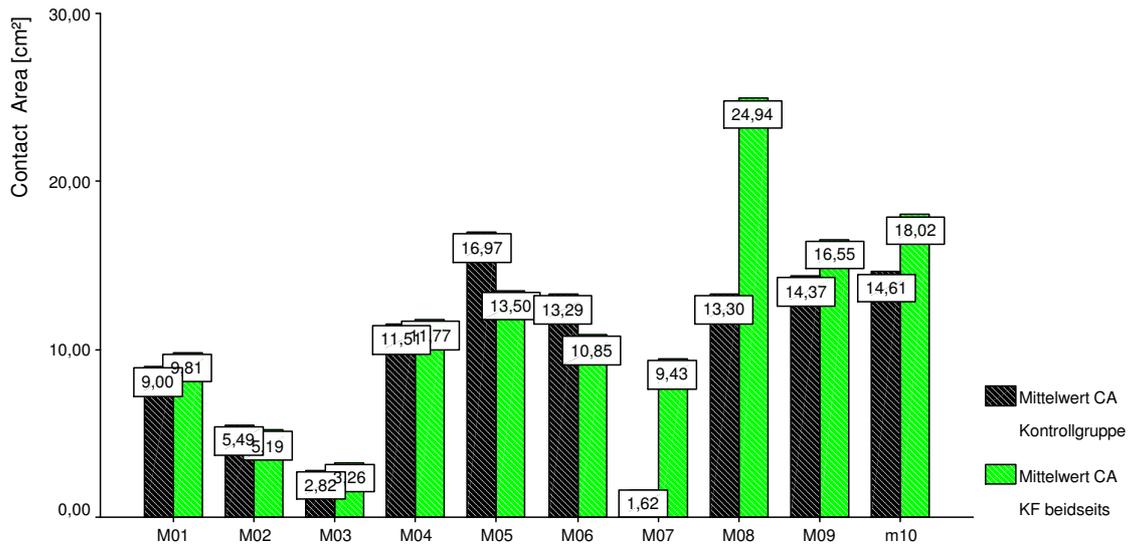


Graphik 4.2: Durchschnittliche Kontaktflächen der einzelnen Fußbereiche M01 bis M10 der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Die Messungen der Kontaktfläche der kompletten Fußsohle (T0) der operierten Seite bei den einseitigen Klumpfüßen ergaben im Mittel einen Wert von 115,91 cm². Die Kontaktfläche der gesunden Gegenseite betrug durchschnittlich 117,22 cm².

Die statistische Auswertung mit Hilfe des Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben ergab bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Verminderung der Kontaktfläche im medialen Vorfußbereich (Metatarsale I = M04) um 2,53 cm² ($p = 0,015$) im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Für den lateralen Vorfußbereich (Metatarsale IV + V = M06) wurde eine signifikante Kontaktflächenzunahme um 1,44 cm² ($p = 0,034$) ermittelt.

Die Verringerung der Kontaktfläche der gesamten Fußsohle (T0) ($p = 0,796$) sowie die der einzelnen Fußbereiche M05 ($p = 0,127$) und M07 ($p = 0,796$) war nicht signifikant. Ebenfalls konnte keine Signifikanz für die Zunahme der Kontaktflächen der Masken M01 ($p = 0,460$), M02 ($p = 0,587$), M03 ($p = 0,069$), M08 ($p = 0,642$), M09 ($p = 0,215$) und M10 ($p = 0,660$) nachgewiesen werden.



Graphik 4.3: Durchschnittliche Kontaktflächen der einzelnen Fußbereiche M01 bis M10 der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur Kontrollgruppe

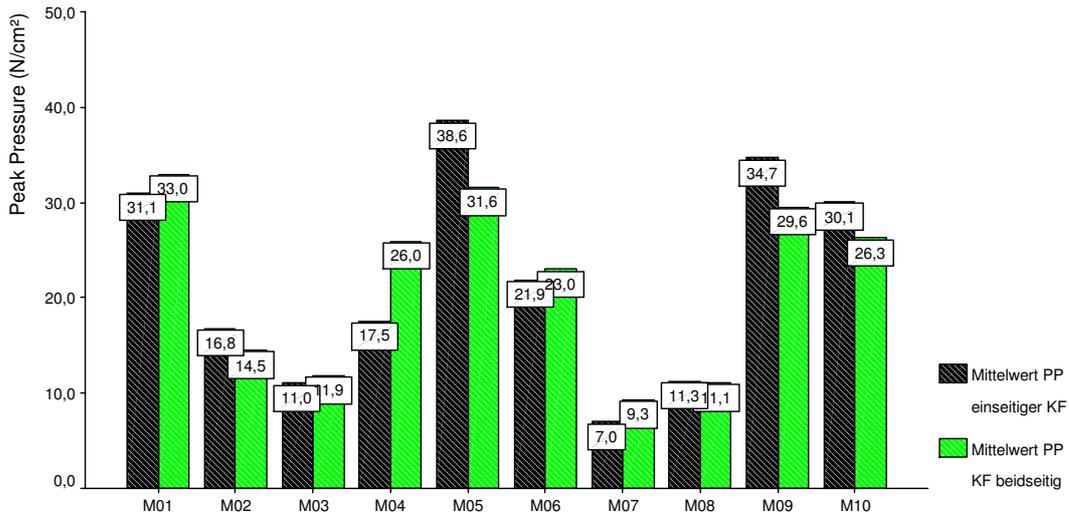
Die Messungen der Kontaktfläche der kompletten Fußsohle (T0) der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß ergaben im Mittel einen Wert von 123,52 cm². Die Kontaktfläche der gesamten Fußsohle der Kinder aus dem Kontrollkollektiv betrug durchschnittlich 103,54 cm².

Die Anwendung des Mann-Whitney-U-Test für 2 unabhängige Stichproben ergab eine signifikante Verkleinerung der Kontaktfläche für die Vorfußbereiche M05 um 3,47 cm² ($p = 0,007$) und M06 um 2,44 cm² ($p = 0,012$) im Vergleich zur Kontrollgruppe. Unter der Ferse konnte eine signifikante Kontaktflächenzunahme um 2,18 cm² ($p = 0,042$) für M09 und um 3,41 cm² ($p = 0,005$) für M10 nachgewiesen werden. Insbesondere die Vergrößerungen der Kontaktfläche im Mittelfußbereich (M07 und M08) um 7,81 cm² ($p = 0,000$) bzw. um 11,64 cm² ($p = 0,000$) sowie die der gesamten Fußsohle (T0) um 19,98 cm² ($p = 0,002$) waren signifikant.

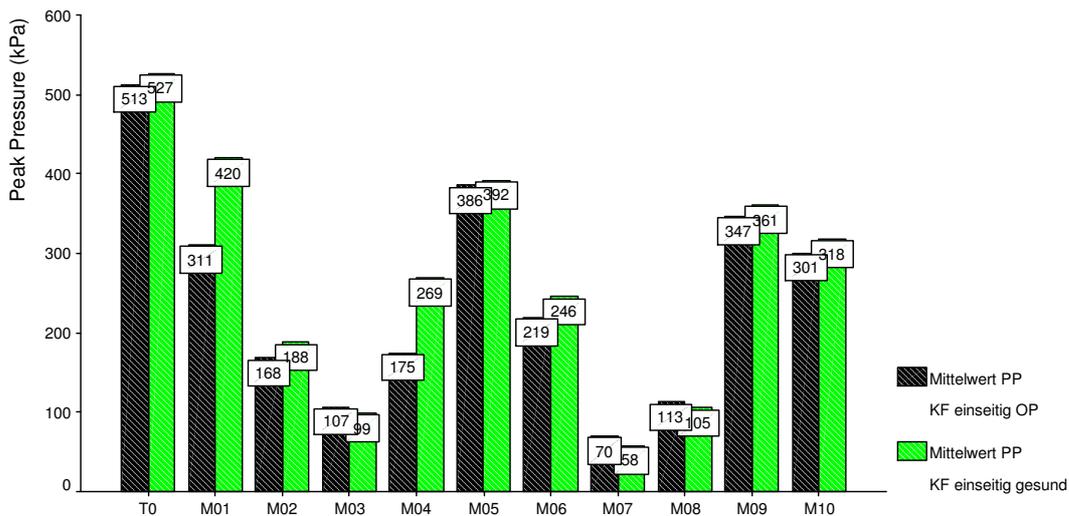
Weder die Abnahme der Kontaktfläche unter dem Fußbereich M02 ($p = 0,429$) noch die Vergrößerung unter den Masken M01 ($p = 0,097$), M03 ($p = 0,346$) und M04 ($p = 0,821$) waren statistisch signifikant.

4.2.2. Maximaldruckverteilung Fußsohle

Die Pedobarographie ergab für den Zeitraum des gesamten Abrollvorgangs bei den 32 untersuchten Füßen im Durchschnitt einen Maximaldruck von 492,14 N/cm² für die ganze Fußsohle (T0). Für die einzelnen Fußbereiche M01 bis M10 wurden die in Graphik 4.4 dargestellten gemittelten Druckwerte gemessen.



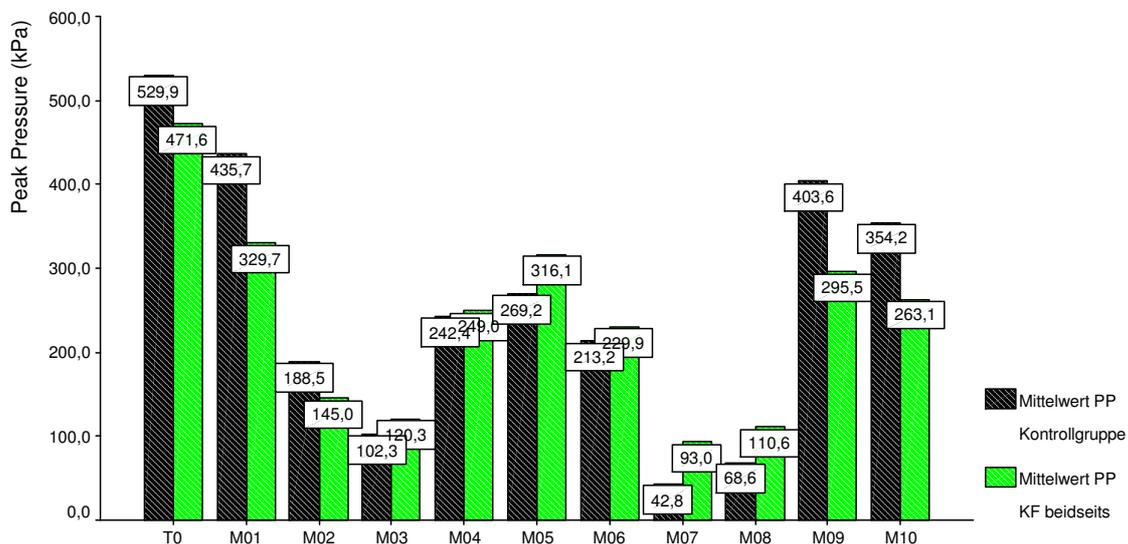
Graphik 4.4: Gemittelttes Druckverteilungsbild für die Masken M01 bis M10 unter der Fußsohle der Klumpfüße



Graphik 4.5: Gemittelttes Druckverteilungsbild für die Masken T0 sowie M01 bis M10 unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Mit Hilfe des Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben konnte bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Verminderung des maximalen Drucks im Bereich der Großzehe (M01) um 109 kPa ($p = 0,015$) und im medialen Vorfußbereich (Metatarsale I = M04) um 94 kPa ($p = 0,006$) im Vergleich zur gesunden Gegenseite nachgewiesen werden.

Sowohl die Druckspitzenminderungen unter den Masken T0 ($p = 0,234$), M02 ($p = 0,518$), M05 ($p = 0,301$), M06 ($p = 0,196$), M09 ($p = 0,605$) und M10 ($p = 0,569$) als auch die Druckspitzensteigerung unter den Masken M03 ($p = 0,379$), M07 ($p = 0,293$) und M08 ($p = 0,266$) waren nicht signifikant.



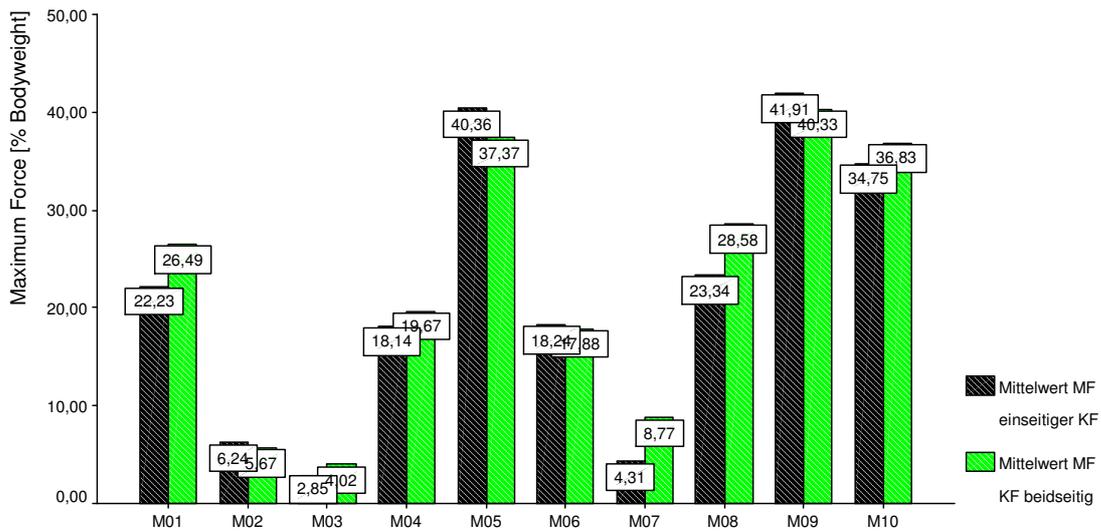
Graphik 4.6: Gemitteltetes Druckverteilungsbild für die Masken T0 sowie M01 bis M10 unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die statistische Auswertung mittels Mann-Whitney-U-Test für 2 unabhängige Stichproben ergab eine signifikante Steigerung des maximalen Drucks sowohl im medialen (M07) als auch im lateralen Mittelfußbereich (M08) um 50,2 kPa ($p = 0,000$) bzw. um 42 kPa ($p = 0,001$) im Vergleich zum Kontrollkollektiv. Unter der Ferse (M09 und M10) wurden signifikante Abnahmen des maximalen Drucks um 108,1 kPa ($p = 0,010$) bzw. um 91,1 kPa ($p = 0,007$) verzeichnet.

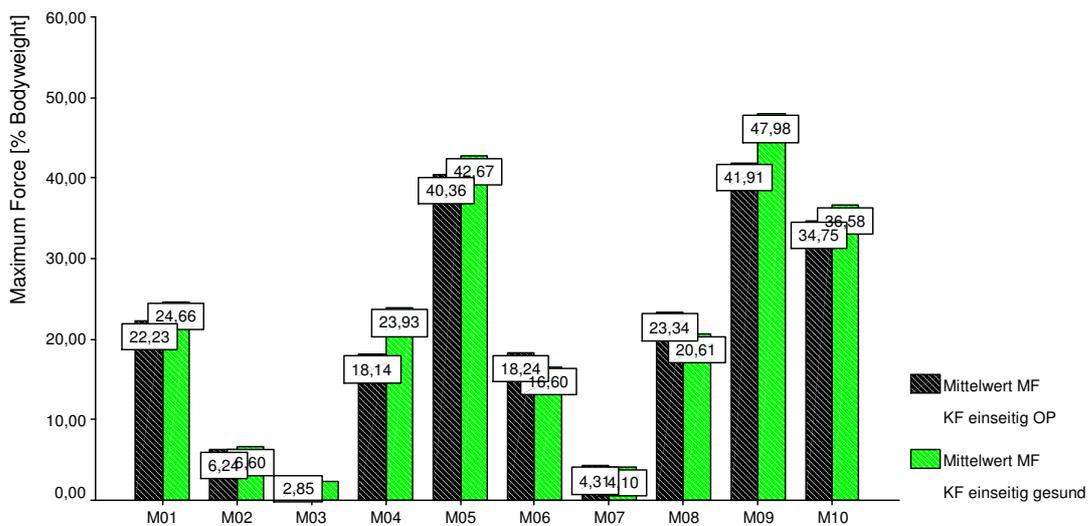
Die unter den Masken T0 ($p = 0,214$), M01 ($p = 0,055$) und M02 ($p = 0,105$) gemessenen Minderungen des maximalen Drucks sowie die Druckspitzenzunahmen

unter den Masken M03 ($p = 0,651$), M04 ($p = 0,821$), M05 ($p = 0,152$) und M06 ($p = 0,318$) waren nicht statistisch signifikant.

4.2.3. Maximalkraftverteilung Fußsohle



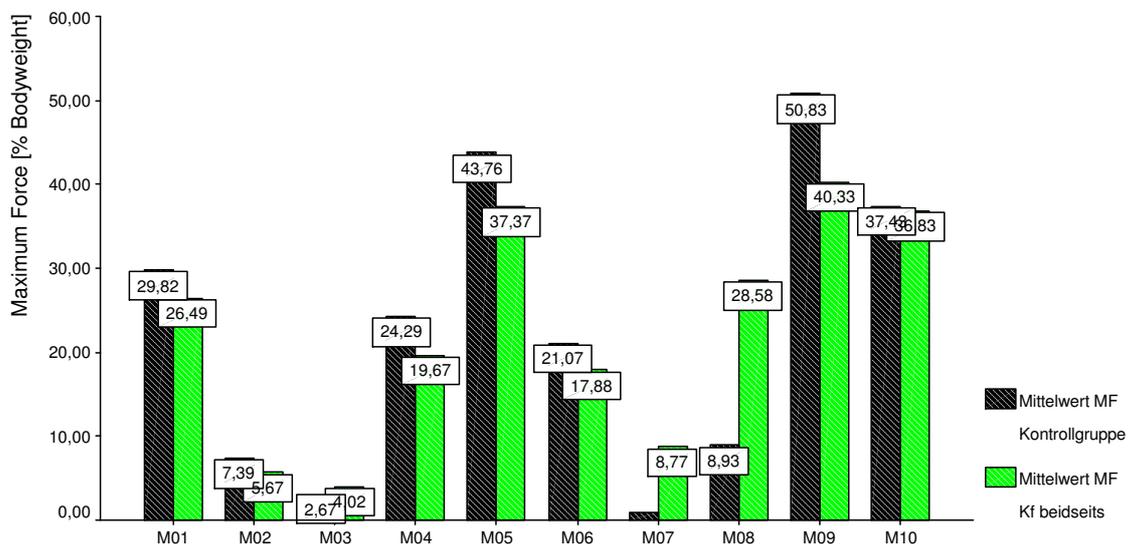
Graphik 4.7: Gemittetes Druckverteilungsbild für die Masken M01 bis M10 unter der Fußsohle der Klumpfüße.



Graphik 4.8: Gemittetes Druckverteilungsbild für die Masken M01 bis M10 unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Die Messungen der maximalen Kraft unter der kompletten Fußsohle (T0) der operierten Seite ergaben im Mittel einen Wert von 113,43 % Körpergewicht. Die der gesunden Gegenseite betrug durchschnittlich 117,17 % Körpergewicht.

Die Analyse der maximalen Kraft unter den einzelnen Masken ergibt keine signifikanten Unterschiede zur gesunden Gegenseite. Tendenziell zeichnet sich jedoch auch bei diesem Vergleich die Belastungszunahme im Mittelfußbereich (M07 und M08) sowie die Abnahme der maximalen Kraft im medialen Fersenbereich (M09) ab. Diese typischen Merkmale des Abrollmusters des Klumpfußkollektivs sind im Vergleich mit dem Kontrollkollektiv signifikant (siehe Graphik 4.10).

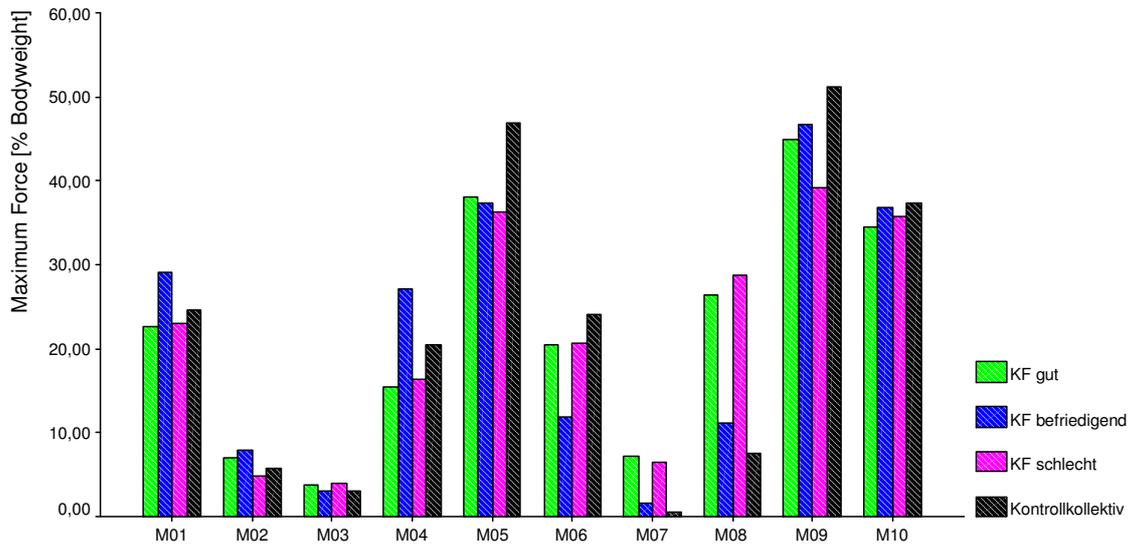


Graphik 4.9: Gemitteltetes Druckverteilungsbild für die Masken M01 bis M10 unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Messungen der maximalen Kraft unter der kompletten Fußsohle (T0) der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß ergaben im Mittel einen Wert von 121,52 % Körpergewicht. Die unter der gesamten Fußsohle der Kinder aus dem Kontrollkollektiv betrug durchschnittlich 118,73 % Körpergewicht.

Die Maximalkraftverteilung unter den Masken M07 und M08 der Klumpfüße unterscheidet sich von der in dem Kontrollkollektiv signifikant. Der kranke Fuß rollt im Mittelfußbereich sowohl über dem medialen (M07) als auch dem lateralen (M08) Bereich wesentlich stärker ab als ein normaler Fuß ($p = 0,000$). Im Gegensatz dazu

kommt es unter dem medialen Fersenbereich (M09) zu einer signifikant schwächeren Belastung ($p = 0,000$).



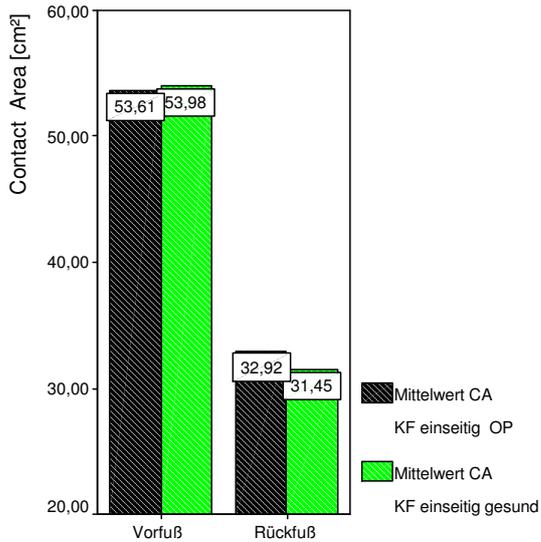
Graphik 4.10: Gemitteltetes Druckverteilungsbild für die Masken M01 bis M10 unter der Fußsohle der Klumpfüße, unterteilt nach den Ergebnissen der klinischen Untersuchung sowie unter der Fußsohle des Kontrollkollektivs.

Die Unterteilung des Klumpfußkollektivs nach den Ergebnissen des Magone-Scores ergab für alle Gruppen im Vergleich zum Kontrollkollektiv eine signifikante Zunahme der Belastung unter den Masken M07 und M08.

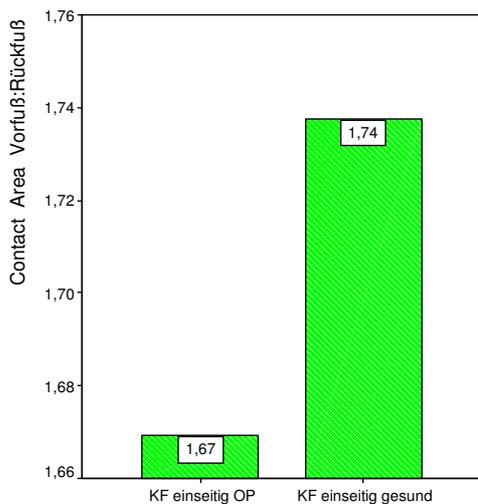
Zusätzlich wurde in allen Gruppen der Bereich unter der Maske M09 signifikant weniger belastet als dies bei einem normalen Fuß der Fall ist.

4.2.4. Vorfußbelastung vs. Rückfußbelastung

Das im Folgenden als Vorfuß bezeichnete Areal bezieht sich auf die Summe der Masken M01, M02, M03, M04, M05 und M06, das als Rückfuß benannte Areal auf die Summe aus den Masken M09 und M10.

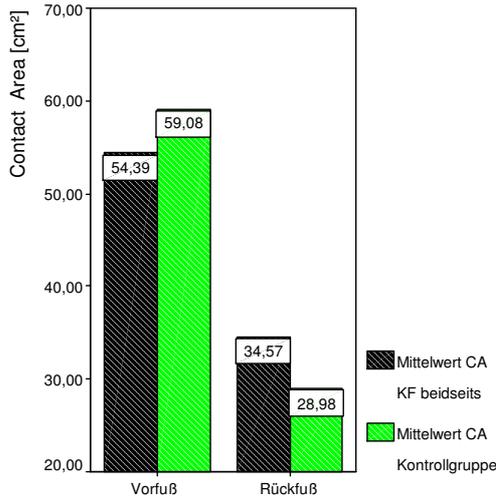


Graphik 4.11: Durchschnittliche Kontaktflächen im Vorfuß- bzw. Rückfußbereich der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

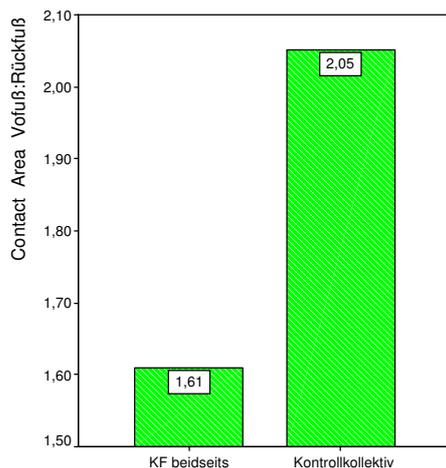


Graphik 4.12: Verhältnis der durchschnittlichen Kontaktflächen Vorfußbereich : Rückfußbereich der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Die statistische Auswertung mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben ergab bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß weder eine statistisch signifikante Abnahme der Kontaktfläche des Vorfußes noch eine statistisch signifikante Zunahme der Kontaktfläche des Rückfußes im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Ebenfalls lag keine statistisch signifikante Zunahme des Quotienten Vorfuß : Rückfuß für die gesunde Gegenseite der einseitigen Klumpfüße im Vergleich zur operierten Seite vor.



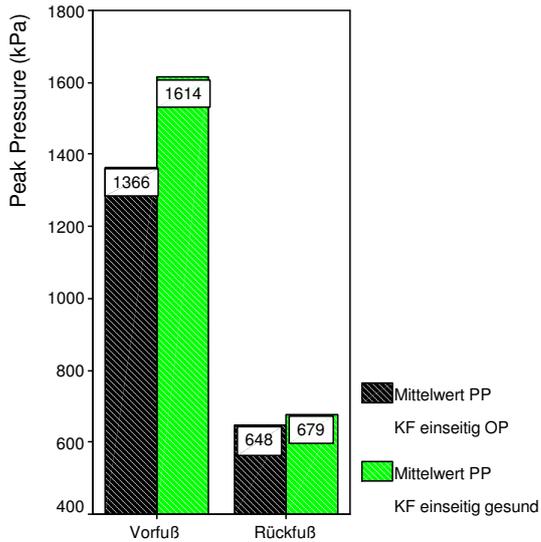
Graphik 4.13: Durchschnittliche Kontaktflächen im Vorfuß- bzw. Rückfußbereich der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv



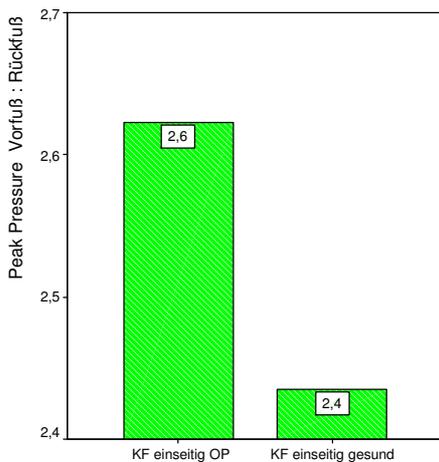
Graphik 4.14: Verhältnis der durchschnittlichen Kontaktflächen

Vorfußbereich : Rückfußbereich der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv

Die statistische Auswertung mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests für 2 unabhängige Stichproben ergab eine statistisch signifikante Kontaktflächenzunahme im Rückfußbereich der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zur Kontrollgruppe um 5,59 cm² (p = 0,005). Ebenfalls konnte eine statistisch signifikante Abnahme des Quotienten Vorfuß : Rückfuß der Kontaktflächen der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zum Kontrollkollektiv nachgewiesen werden (p = 0,000).



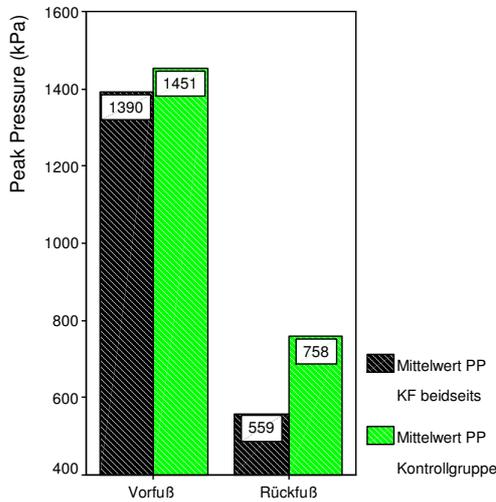
Graphik 4.15: Gemitteltetes Druckverteilungsbild im Vorfuß- bzw. Rückfußbereich unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite



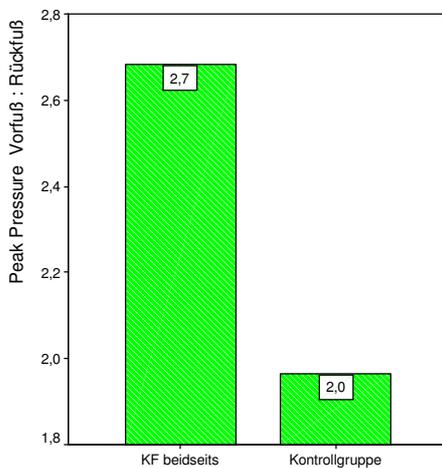
Graphik 4.16: Verhältnis der gemittelten Maximaldrücke Vorfußbereich : Rückfußbereich unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben konnte bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Abnahme der Maximaldrücke im Vorfußbereich um 248 kPa ($p = 0,002$) im Vergleich zur gesunden Gegenseite nachgewiesen werden. Sowohl die Druckspitzenminderung im Rückfußbereich der

einseitigen Klumpfüße um 31 kPa ($p = 0,535$) als auch die Zunahme des Quotienten Vorfuß : Rückfuß im Vergleich zur gesunden Gegenseite ($p = 0,535$) waren nicht statistisch signifikant.



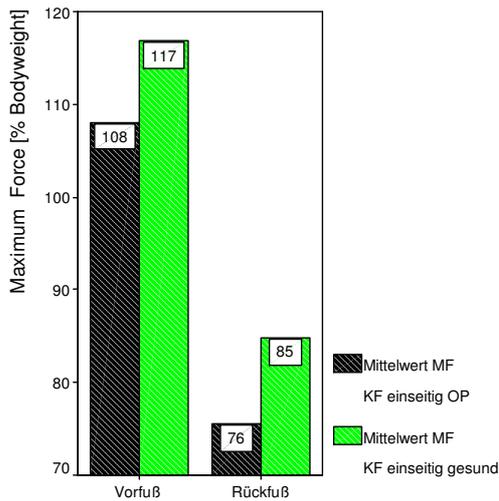
Graphik 4.17: Gemitteltetes Druckverteilungsbild im Vorfußbereich bzw. Rückfußbereich unter der Fußsohle der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv



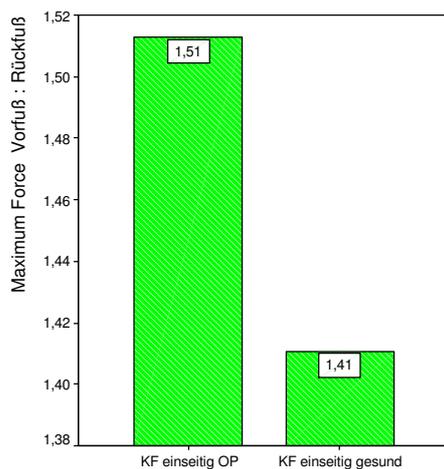
Graphik 4.18: Verhältnis der gemittelten Maximaldrücke Vorfußbereich : Rückfußbereich unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die statistische Auswertung mittels des Mann-Whitney-U-Tests für zwei unabhängige Stichproben ergab eine signifikante Abnahme des maximalen Drucks im

Rückfußbereich um 199 kPa ($p = 0,010$) bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zum Kontrollkollektiv. Die Zunahme des Quotienten Vorfuß : Rückfuß gegenüber dem Kontrollkollektiv ist ebenfalls statistisch signifikant ($p = 0,003$). Die im Vorfußbereich verzeichnete Abnahme des maximalen Drucks um 61 kPa war nicht statistisch signifikant ($p = 0,669$).

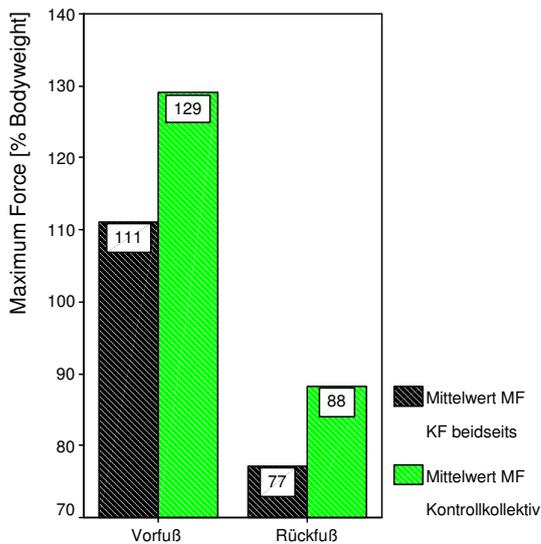


Graphik 4.19: Gemittelttes Druckverteilungsbild im Vorfußbereich bzw. Rückfußbereich unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

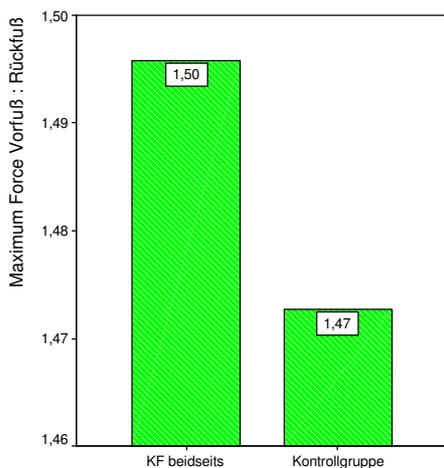


Graphik 4.20: Verhältnis der gemittelten maximalen Kraft Vorfußbereich : Rückfußbereich unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Die Messungen der maximalen Kraft unter dem Vorfuß der operierten Seite ergaben eine signifikante Abnahme um 9 % Körpergewicht im Gegensatz zur gesunden Gegenseite ($p = 0,015$). Sowohl die Abnahme der maximalen Kraft unter dem Rückfuß der operierten Seite als auch die Zunahme des Quotienten Vorfuß : Rückfuß zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede zur gesunden Gegenseite.



Graphik 4.21: Gemitteltetes Druckverteilungsbild für den Vorfußbereich bzw. Rückfußbereich unter der Fußsohle der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv



Graphik 4.22: Verhältnis der gemittelten maximalen Kraft Vorfußbereich : Rückfußbereich unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur Kontrollgruppe

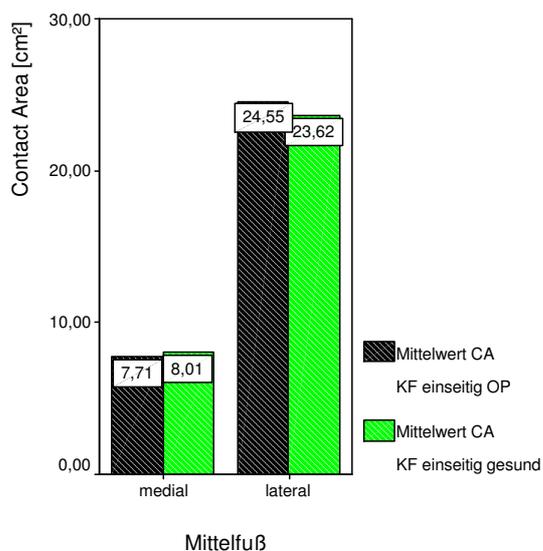
Wie auch bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß im Vergleich mit der gesunden Gegenseite zeigten die Messungen der Maximalkraftverteilung unter dem Vorfuß der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Abnahme um 18 % Körpergewicht im Gegensatz zum Kontrollkollektiv ($p = 0,002$).

Die Abnahme der maximalen Kraft um 11 % Körpergewicht unter dem Rückfuß der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß stellt ebenfalls eine statistisch signifikante Belastungsabnahme im Vergleich zur Kontrollgruppe dar ($p = 0,010$).

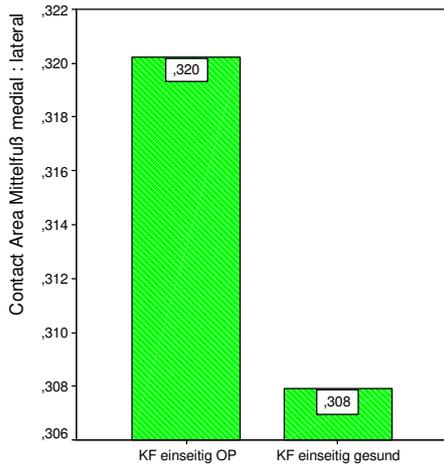
Der Quotient Vorfuß : Rückfuß zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied zum Kontrollkollektiv.

4.2.5. Mittelfußbelastung medial vs. lateral

Das im Folgenden als medial bezeichnete Mittelfußareal bezieht sich auf die Maske M07, das als lateral benannte Areal auf die Maske M08.

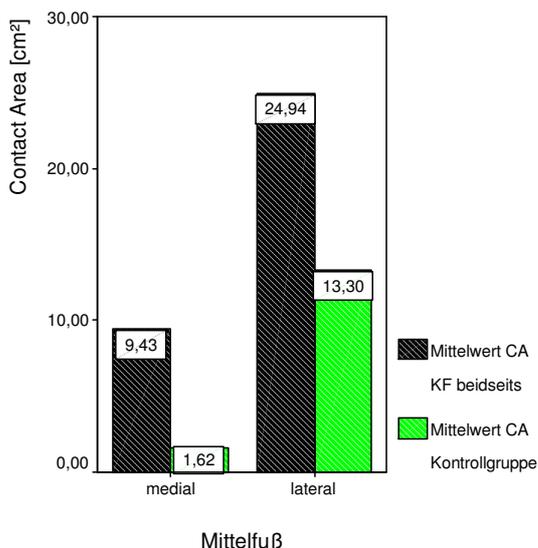


Graphik 4.23: Durchschnittliche Kontaktflächen im medialen bzw. lateralen Mittelfußbereich der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

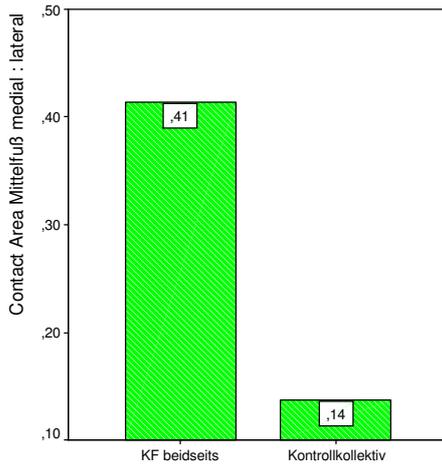


Graphik 4.24: Verhältnis der durchschnittlichen Kontaktflächen Mittelfußbereich medial : lateral der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Die Auswertung mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben ergab bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß weder statistisch signifikante Ergebnisse in Hinsicht auf die mediale bzw. laterale Kontaktfläche im Mittelfußbereich noch bezüglich des Quotienten medial : lateral im Vergleich mit der gesunden Gegenseite.



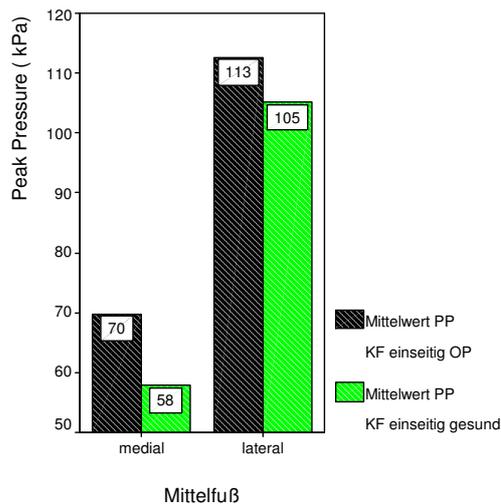
Graphik 4.25: Durchschnittliche Kontaktflächen im medialen bzw. lateralen Mittelfußbereich der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv



Graphik 4.26: Verhältnis der durchschnittlichen Kontaktflächen

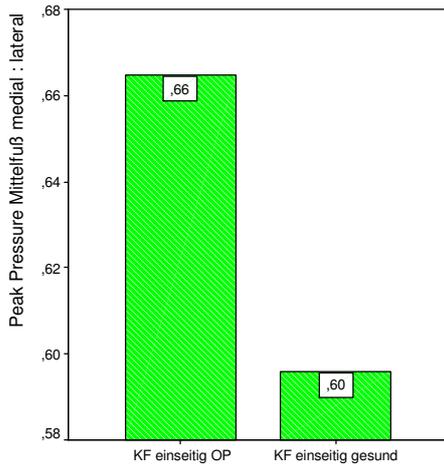
Mittelfußbereich medial : lateral der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv

Die Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests für 2 unabhängige Stichproben ergab sowohl eine signifikante Kontaktflächenzunahme im medialen Mittelfußbereich um 7,81 cm² (p = 0,000) als auch im lateralen um 11,64 cm² (p = 0,000) bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zur Kontrollgruppe. Ebenfalls ist die Zunahme des Quotienten Mittelfuß medial : lateral statistisch signifikant (p = 0,001).



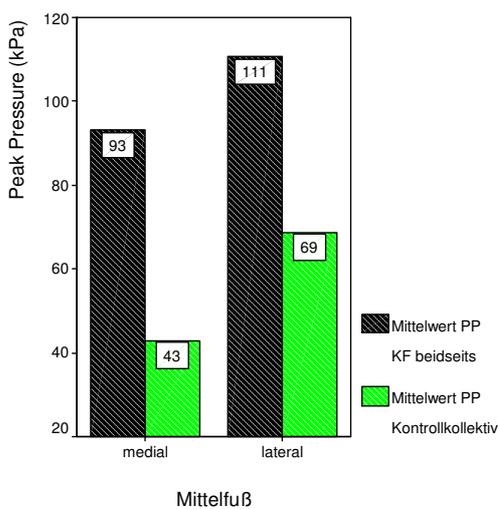
Graphik 4.27: Gemitteltetes Druckverteilungsbild im medialen bzw. lateralen

Mittelfußbereich unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

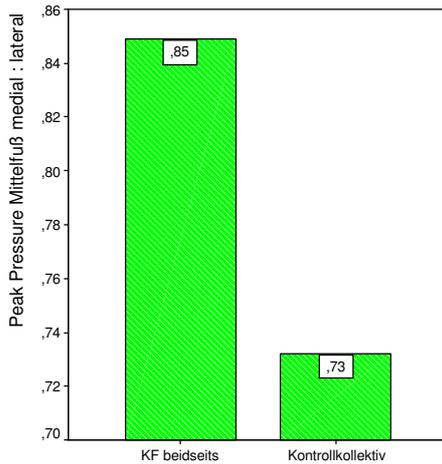


Graphik 4.28: Verhältnis der gemittelten Maximaldrücke Mittelfußbereich medial : lateral unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben konnten bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß keine statistisch signifikanten Unterschiede der Maximaldrücke im medialen oder lateralen Mittelfußbereich oder des Quotienten Mittelfuß medial : lateral im Vergleich zur gesunden Gegenseite nachgewiesen werden. Tendenziell zeigt sich jedoch wie im beidseitigen Klumpfußkollektiv eine Druckspitzenzunahme sowohl im lateralen als auch im medialen Mittelfußbereich der einseitigen Klumpfüße um 8 kPa ($p = 0,266$) bzw. um 12 kPa ($p = 0,293$) im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

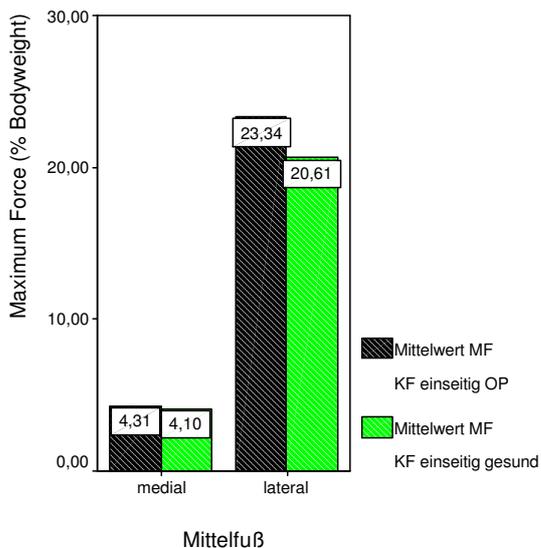


Graphik 4.29: Gemitteltes Druckverteilungsbild im medialen bzw. lateralen Mittelfußbereich unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zum Kontrollkollektiv

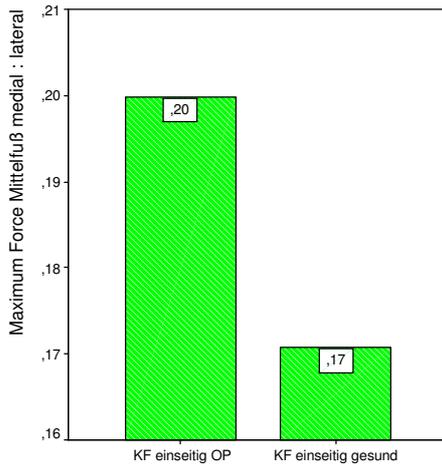


Graphik 4.30: Verhältnis der gemittelten Maximaldrücke Mittelfußbereich medial : lateral unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die statistische Auswertung mittels des Mann-Whitney-U-Tests für 2 unabhängige Stichproben zeigt eine signifikante Steigerung des maximalen Drucks sowohl im medialen als auch im lateralen Mittelfußbereich um 50 kPa ($p = 0,000$) bzw. um 42 kPa ($p = 0,000$). Der Quotient Mittelfuß medial : lateral ergab keine statistisch signifikanten Ergebnisse.

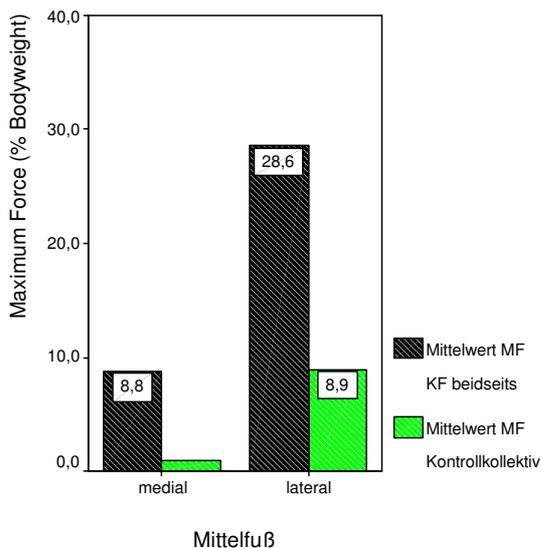


Graphik 4.31: Gemittelttes Druckverteilungsbild im medialen bzw. lateralen Mittelfußbereich unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

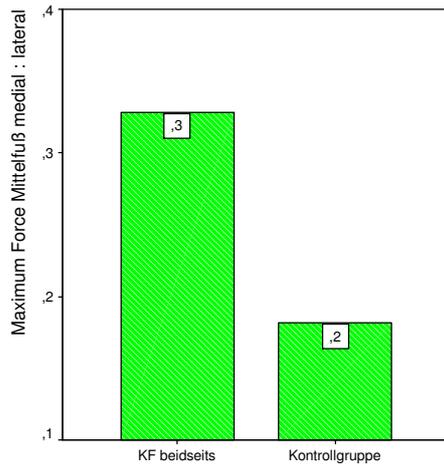


Graphik 4.32: Verhältnis der gemittelten maximalen Kraft Mittelfußbereich medial : lateral unter der Fußsohle der einseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Die Analyse der maximalen Kraft unter den medialen bzw. lateralen Mittelfußbereichen der Kinder mit einseitigem Klumpfuß ergab ebenso wie der Quotient Mittelfuß medial : lateral keine statistisch signifikanten Unterschiede zur gesunden Gegenseite. Tendenziell zeichnet sich jedoch auch bei diesem Vergleich eine Belastungszunahme im Mittelfußbereich sowie eine Zunahme des Quotienten Mittelfuß medial : lateral entsprechend dem Abrollmuster des Klumpfußkollektivs im Vergleich mit der Kontrollgruppe ab.



Graphik 4.33: Gemitteltes Druckverteilungsbild für den medialen bzw. lateralen Mittelfußbereich unter der Fußsohle der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur Kontrollgruppe

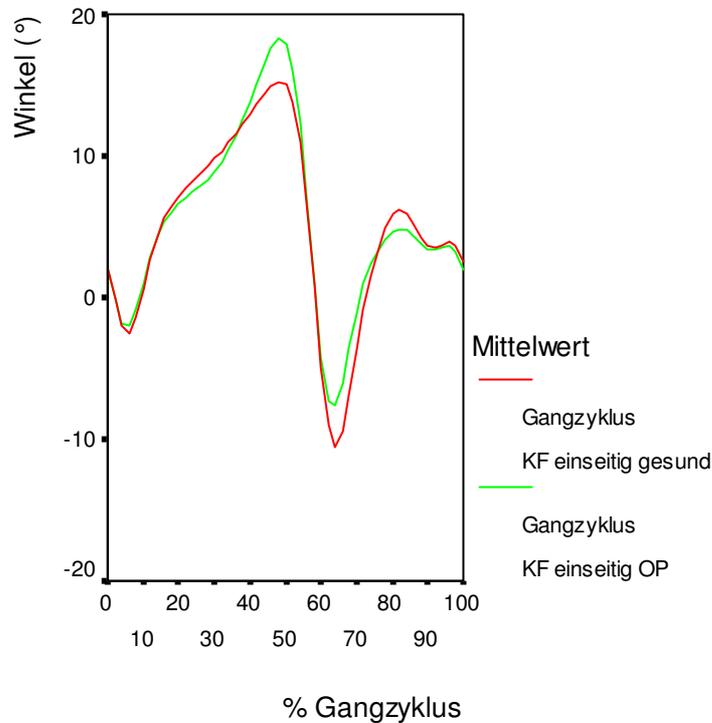


Graphik 4.34: Verhältnis der gemittelten maximalen Kraft Mittelfußbereich medial : lateral unter der Fußsohle der beidseitigen Klumpfüße mit der EMED-Messplatte im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die Maximalkraftverteilung im medialen und lateralen Mittelfußbereich unterscheidet sich signifikant von der in dem Kontrollkollektiv. Der kranke Fuß rollt über dem medialen Mittelfußbereich um 8 % Körpergewicht ($p = 0,000$) und über dem lateralen Mittelfußbereich um 19,7 % Körpergewicht ($p = 0,000$) stärker ab. Ebenso ist die Zunahme des Quotienten Mittelfuß medial : lateral statistisch signifikant ($p = 0,024$).

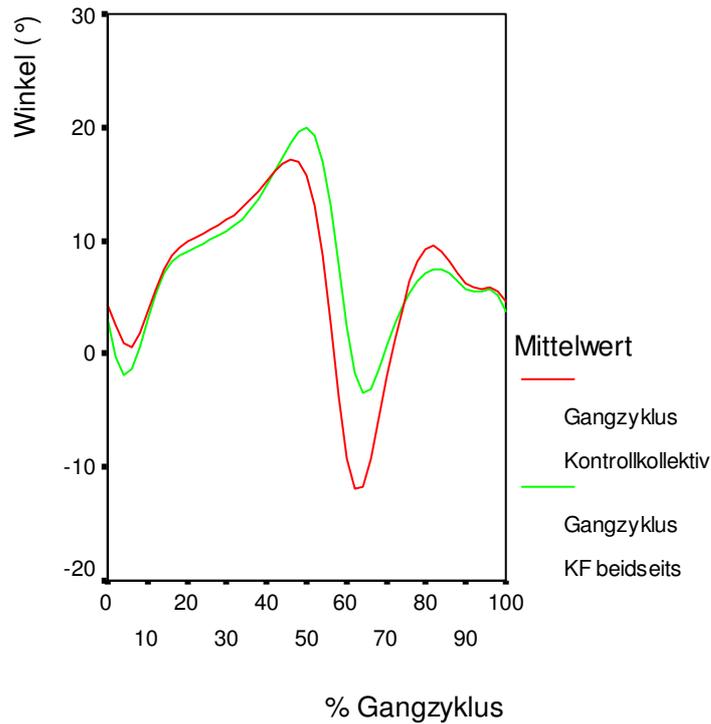
4.3. Ganganalyse

4.3.1. Fußgelenk in der Sagittalebene



Graphik 4.35: Durchschnittliche kinemetrise Parameter des Sprunggelenks bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß im Vergleich zur gesunden Gegenseite

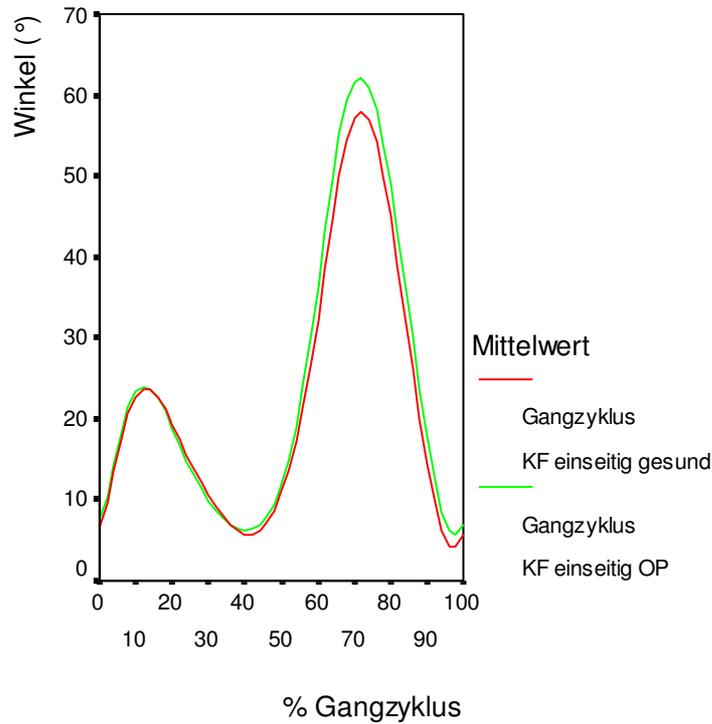
Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben konnten bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß weder statistisch signifikante Veränderungen der Dorsalflexion noch der Plantarflexion im Sprunggelenk im Vergleich zur gesunden Gegenseite nachgewiesen werden. Jedoch zeigte sich tendenziell eine Zunahme der Dorsalflexion im Sprunggelenk während der späten Standphase im Vergleich zur gesunden Gegenseite mit gleichzeitig verbundener Abnahme der Plantarflexion in der frühen Schwungphase (Intervall 48% bis 68% des gesamten Gangzyklus) entsprechend der statistischen Auswertung der Kinder mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zum Kontrollkollektiv (s. Graphik 4.36).



Graphik 4.36: Durchschnittliche kinemetrische Parameter des Sprunggelenks bei Kindern mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zur Kontrollgruppe

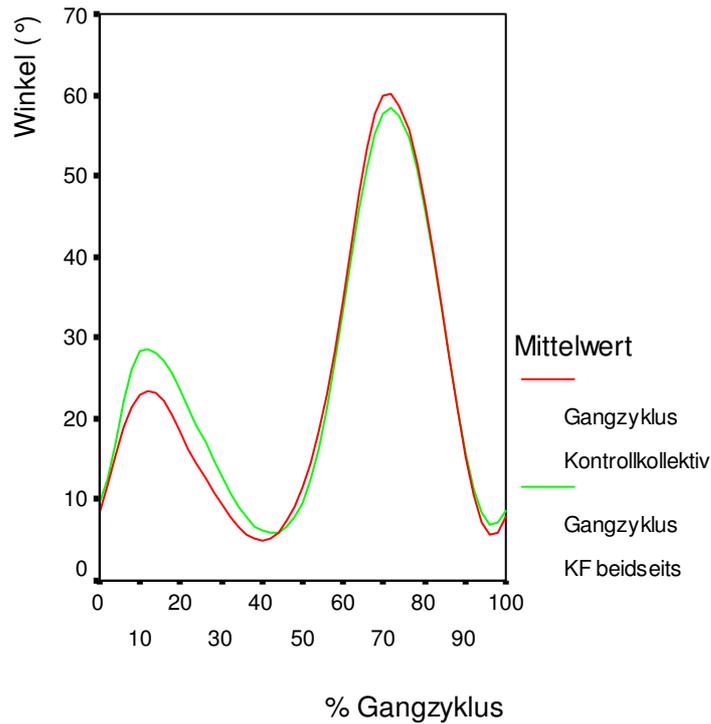
Die Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests für zwei unabhängige Stichproben ergab bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Zunahme der Dorsalflexion im Sprunggelenk während der späten Standphase mit Fersenablösung und Zehenablösung im Vergleich zum Kontrollkollektiv verbunden mit gleichzeitiger statistisch signifikanter Abnahme der Plantarflexion in der frühen Schwungphase (Intervall 48% bis 68% des gesamten Gangzyklus). Des Weiteren zeigte sich eine statistisch signifikante Abnahme der Dorsalflexion bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß während der mittleren Schwungphase (80% bis 82% eines vollständigen Gangzyklus) im Vergleich zur Kontrollgruppe.

4.3.2. Kniegelenk in der Sagittalebene



Graphik 4.37: Durchschnittliche kinematische Parameter des Kniegelenkwinkels bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß im Vergleich zur gesunden Gegenseite

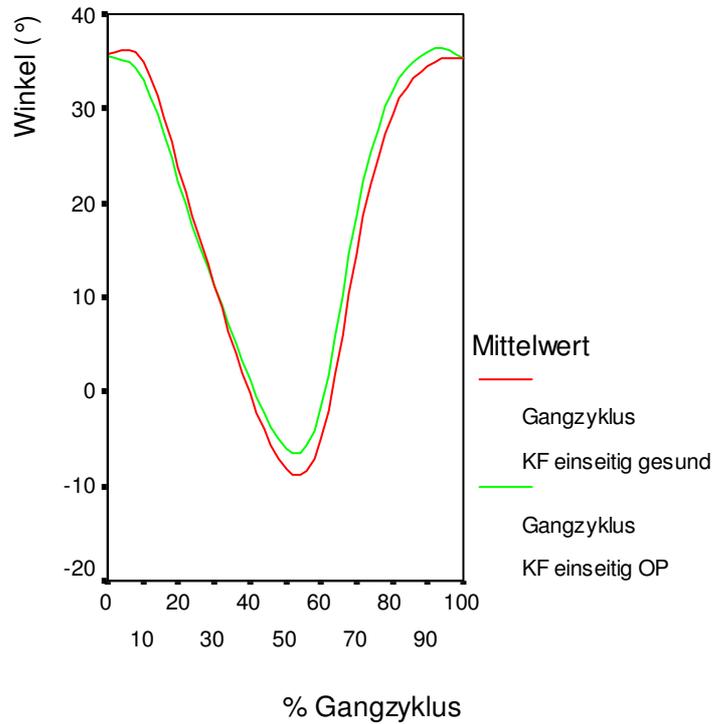
Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben konnte bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Zunahme der Flexion im Kniegelenk für das Intervall der Beschleunigungsphase im Rahmen der Schwungphase (bei 60% - 68% des vollständigen Gangzyklus) im Vergleich zur gesunden Gegenseite nachgewiesen werden.



Graphik 4.38: Durchschnittliche kinemetrische Parameter des Kniegelenkwinkels bei Kindern mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zur Kontrollgruppe

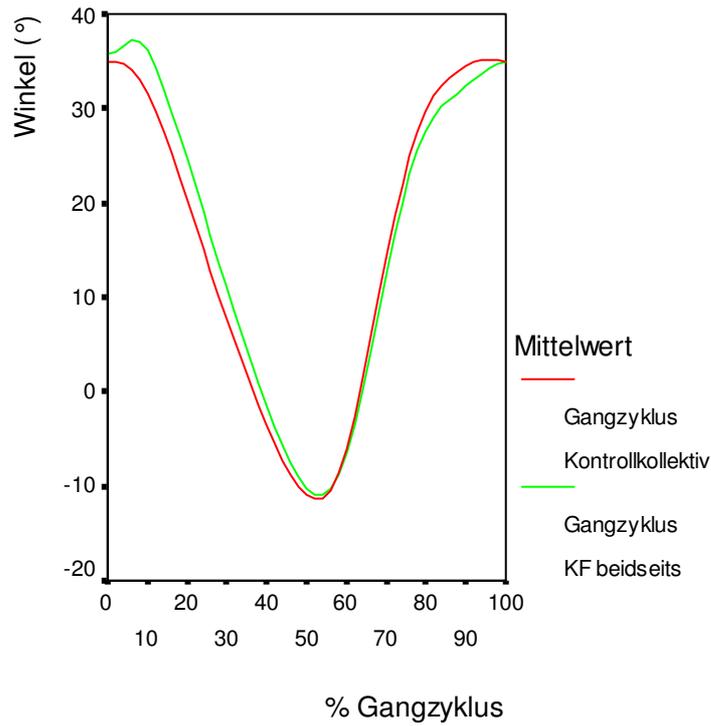
Die Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests für 2 unabhängig Stichproben ergab bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß weder im Bereich der Flexion noch im Bereich der Extension des Kniegelenkes einen statistisch signifikanten Unterschied im Vergleich zum Kontrollkollektiv. Es zeigte sich jedoch bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß tendenziell eine erhöhte Flexion während der frühen Standphase nach ca. 10% des gesamten Gangzyklus, d.h. zwischen Fersenkontakt und Fußsohlen-Boden-Kontakt, jedoch mit $p = 0,086$ ohne statistische Signifikanz.

4.3.3. Hüftgelenk in der Sagittalebene



Graphik 4.39: Durchschnittliche kinemetrische Parameter des Hüftgelenks bei Kindern Mit einseitigem Klumpfuß im Vergleich zur gesunden Gegenseite

Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben konnte bei den Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Abnahme der Extension im Hüftgelenk im Intervall 54% bis 78% eines gesamten Gangzyklus im Vergleich zur gesunden Gegenseite nachgewiesen werden. Dies entspricht der späten Standphase über die Abstoßphase und Beschleunigungsphase bis hin zur mittleren Schwungphase.



Graphik 4.40: Durchschnittliche kinemetrise Parameter des Hüftgelenks bei Kindern
Mit beidseitigem Klumpfuß im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests für 2 unabhängig Stichproben ergab bei den Kindern mit beidseitigem Klumpfuß weder im Bereich der Flexion noch im Bereich der Extension des Hüftgelenks einen statistisch signifikanten Unterschied im Vergleich zum Kontrollkollektiv.

5. Kasuistik

Für die folgenden Fallbeispiele wurde sowohl aus der guten als auch aus der schlechten Gruppe des untersuchten Kollektivs, die durch den Magone Score festgelegt waren, ein Kind exemplarisch ausgewählt.

	Kind 1 (gut)	Kind 2 (schlecht)
Rückfuß	5	5
Vorfuß	3	0
Equinus	5	5
Exkavatus	5	5
Supination	3	3
OSG-Beweglichkeit	15	0
Flexion Großzehe	5	5
Bimalleolar - Achse	8	8
Fersengang	5	5
Zehengang	5	0
Schmerzen	12	12
Funktion	12	12
Zufriedenheit	5	5
Gesamtpunktzahl	88	65

Tabelle 5.1: Ergebnisse der klinischen Untersuchung nach Magone für Kind 1 und 2.

5.1. Fallbeispiel 1 (ID 16)

Das im folgenden Abschnitt näher zur Darstellung kommende Kind ist ein 10jähriges Mädchen mit einseitigem Klumpfuß rechts.

Die Redressionsbehandlung mit Gipsverbänden im Anschluss an die gedeckte Reposition wurde am 1.Tag nach der Geburt begonnen.

Zu Beginn des 5. Lebensmonats erfolgte die operative Spitzfußbeseitigung mittels Achillessehnenverlängerung sowie anschließender Fersenentwicklung.

Die im Rahmen der Nachbehandlung verschriebenen Schienen bzw. die ab dem Laufflernalter verordneten Einlagen wurden laut den Eltern der Patientin konsequent bis zum 7. Lebensjahr getragen. Ebenso ging das Mädchen bis zu diesem Zeitpunkt regelmäßig zur Krankengymnastik und nahm stets die Termine zur Nachkontrolle bei einem niedergelassenen Orthopäden wahr.

Innerhalb des klinischen Bewertungsschemas von Magone erreichte das Mädchen mit 88 von 100 erreichbaren Punkten ein gutes Ergebnis. Aufgrund der Einschränkung des Bewegungsausmaßes im oberen Sprunggelenk auf einen Bewegungsumfang von 25° wurden 10 der bis zur vollen Punktzahl fehlenden 12 Punkte abgezogen.



Abbildung 5.1: Gutes klinisches Ergebnis bei einem nach Imhäuser behandelten 10jährigen Mädchen mit ehemals Klumpfuß rechts – Ansicht von hinten.



Abbildung 5.2: Gutes klinisches Ergebnis bei einem nach Imhäuser behandelten 10jährigen Mädchen mit ehemals Klumpfuß rechts – Ansicht von unten.

Optisch ist der ehemalige Klumpfuß kaum von der gesunden Gegenseite zu unterscheiden (siehe Abb. 5.1). Lediglich die Fußlänge differiert um 2 cm (9,1 %) und liegt damit über dem Durchschnitt für einseitige Klumpfüße. Eindeutig ist auch bei diesem Mädchen die typische Klumpfußwade zu erkennen, die mit einer Differenz zur gesunden Gegenseite von 4,5 cm (15,8 %) nur knapp über dem Durchschnitt liegt und somit für einseitige Klumpfüße normal groß ist.

Die pedobarographischen Ergebnisse wurden sowohl mit der gesunden Gegenseite als auch mit dem Normalkollektiv verglichen (Graphik 5.1), da die Eltern angaben, dass ihre Tochter bei Geburt eine Klumpfußhaltung links aufwies, die jedoch nur konservativ therapiert wurde. Obwohl sich der linke Fuß in Form und Funktion nicht von normalen Füßen unterschied, konnten mit Hilfe der Pedobarographie für den linken Fuß das Druckverteilungsmuster eines Klumpfußes dargestellt werden (siehe Abb. 5.4). Trotz dieser Ergebnisse unterlag das Mädchen keinerlei Einschränkungen, weder im Alltag noch im Sport.

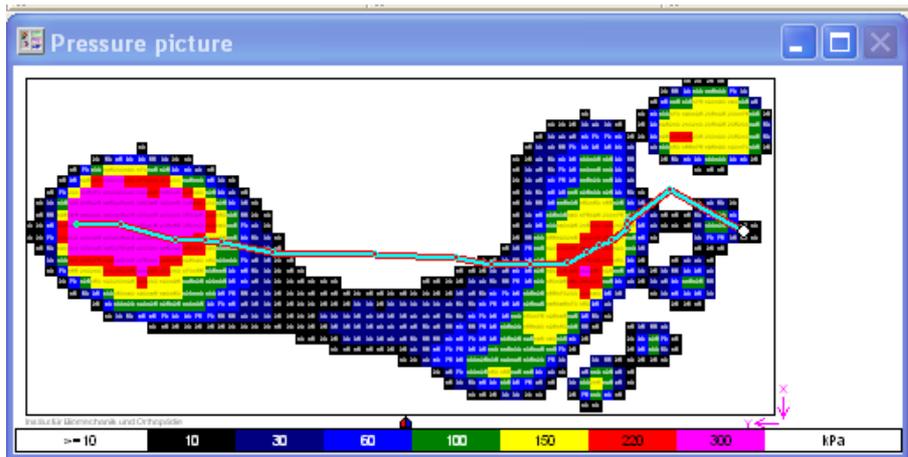


Abbildung 5.3: EMED-Druckverteilungsbild eines 10jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts.

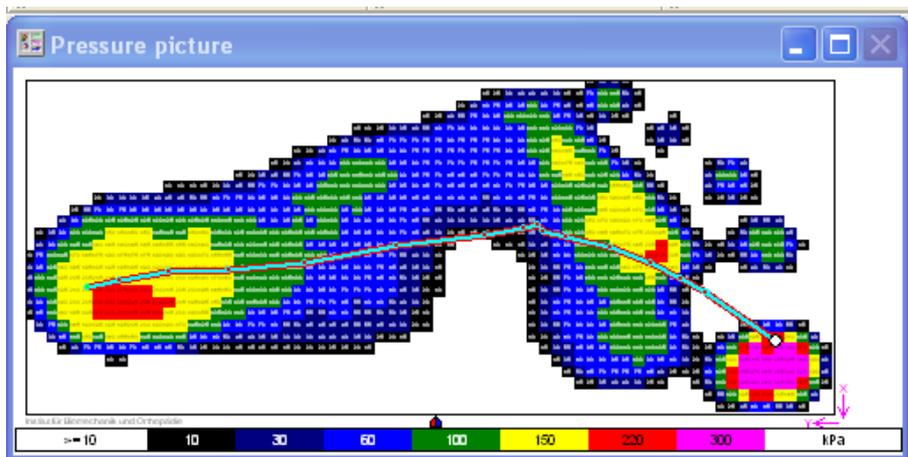
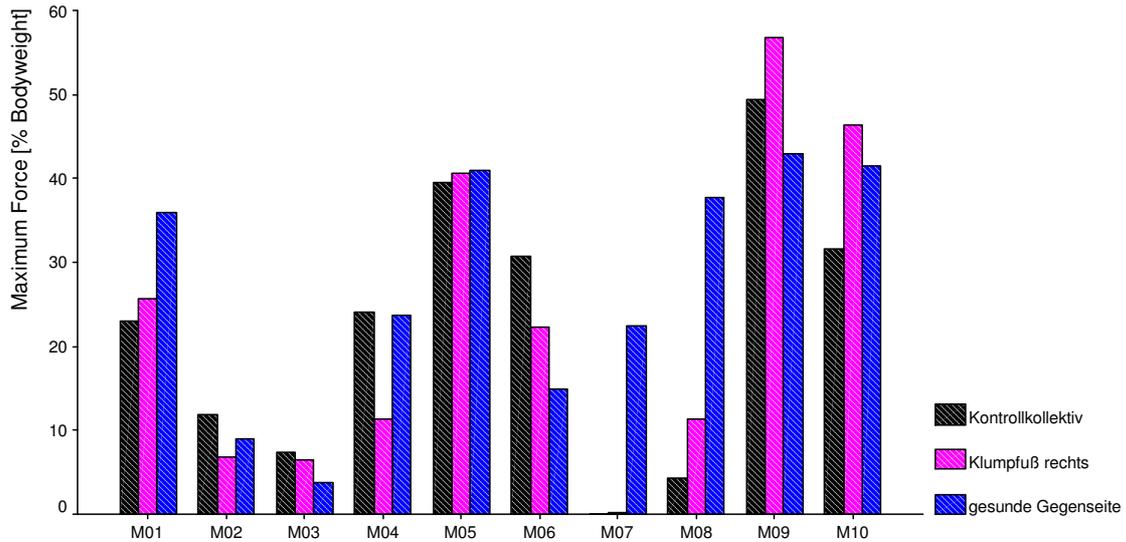


Abbildung 5.4: EMED-Druckverteilungsbild der "gesunden" Gegenseite (links) eines 10jährigen Mädchens. Die ehemalige Klumpfußhaltung links wurde nur konservativ behandelt.

Bei dem Vergleich mit der gesunden Gegenseite bzw. mit dem Kontrollkollektiv ist das Augenmerk vor allem auf die Masken M07, M08 und M09 gerichtet, da sich diese Areale bei operierten Füßen signifikant von denen eines gesunden Fußes unterscheiden.

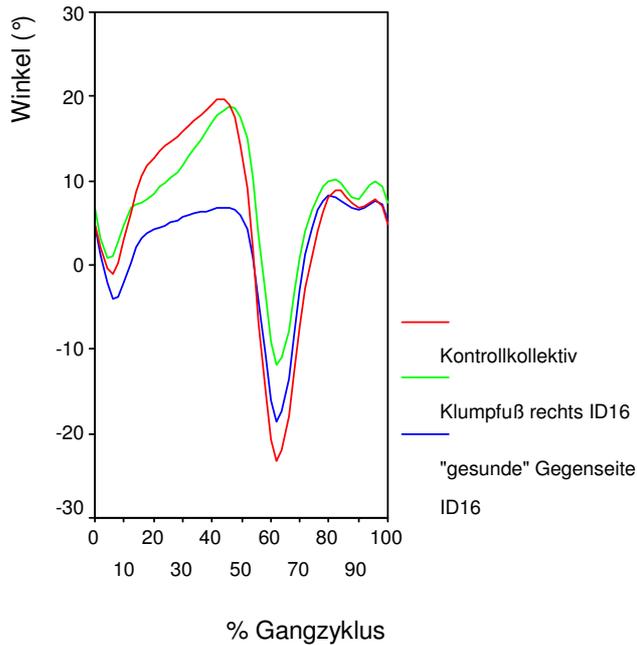


Graphik 5.1: Maximalkraftverteilung unter den Masken M01 bis M10 unter der rechten Und der linken Fußsohle eines 10jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Messungen für den rechten operierten Fuß, der im Vergleich zum Normalkollektiv unter den Masken M07 bzw. M08 keine bzw. nur eine geringfügig stärkere Belastung aufweist, ergeben keinen Anhalt für einen Vorfußadduktus oder eine Supinationskomponente.

Im Gegensatz dazu, kann für die “gesunde“ linke Gegenseite unter diesen Bereichen, insbesondere durch die stärkere Belastung der Fußaußenkante und die für das Klumpfußkollektiv charakteristische Minderbelastung des medialen Fersenbereichs (M09), das typische Belastungsmuster eines Klumpfußes nachgewiesen werden. Diese Meßergebnisse müssen als Ausdruck eines funktionellen Rückfußvarus sowie einer eingeschränkten Dorsalflexion im Sprunggelenk mit verbundener Mehrbelastung im Mittelfußareal und Minderbelastung im Fersenbereich gewertet werden.

Die Messungen der operierten Seite ergaben, entgegen dem typischen Befund im Klumpfußkollektiv, eine Zunahme der Belastung unter der Maske M09 verglichen mit dem Normalkollektiv. Dies könnte ein Hinweis auf eine Überkorrektur im Sinne eines Rückfußvalgus sein. Im Rahmen der klinischen Untersuchung war der Rückfuß als Neutral bis 5° Valgus eingestuft worden.

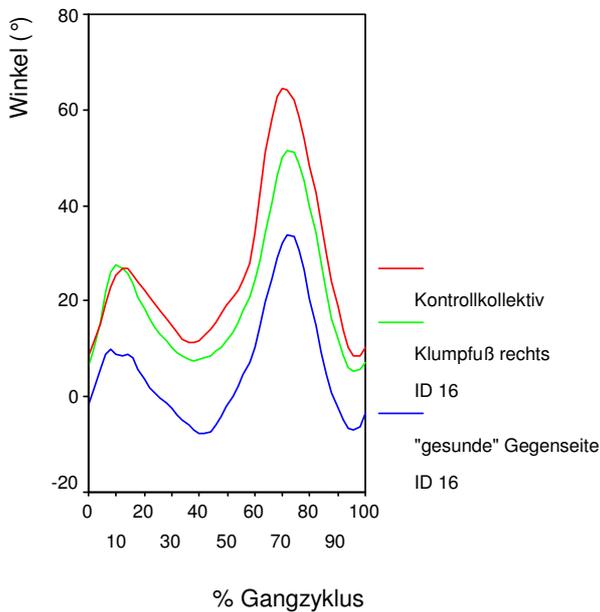


Graphik 5.2: Kinemetrise Parameter des rechten und des linken Sprunggelenks eines 10jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Für den rechten operierten Fuß zeigten die Messungen für das Sprunggelenk entgegen den Auswertungen bei den Kindern mit einseitigem bzw. beidseitigem Klumpfuß (s. Kap. 4.3.1) keine Zunahme der Dorsalflexion während der späten Standphase im Vergleich zum Kontrollkollektiv. Vielmehr verlaufen die Kurven über den gesamten Gangzyklus mit Ausnahme des Intervalls 54-66% nahezu deckungsgleich. Dies spricht für eine ausreichend durchgeführte Achillototenotomie mit vollständiger Beseitigung der Spitzfußkomponente. Im Intervall 54-66% des Gangzyklus ist, entsprechend den Messungen im Klumpfußkollektiv, auch bei dem insgesamt als gut bewerteten Endresultat eine deutliche Abnahme der Plantarflexion bei Zehenablösung bzw. in der frühen Schwungphase nachweisbar.

Die Auswertung der Messungen für die "gesunde" linke Gegenseite zeigen im Gegensatz zu den sowohl für das Kontrollkollektiv als auch für das Klumpfußkollektiv erhobenen Daten eine massive Abnahme der Dorsalflexion über die gesamte Standphase. Dies bestätigt erneut die bereits in der Druckverteilung nachgewiesene weiterhin

bestehende Klumpfußdeformität (Equinuskomponente) der nach Geburt nur konservativ behandelten Klumpfußhaltung links.

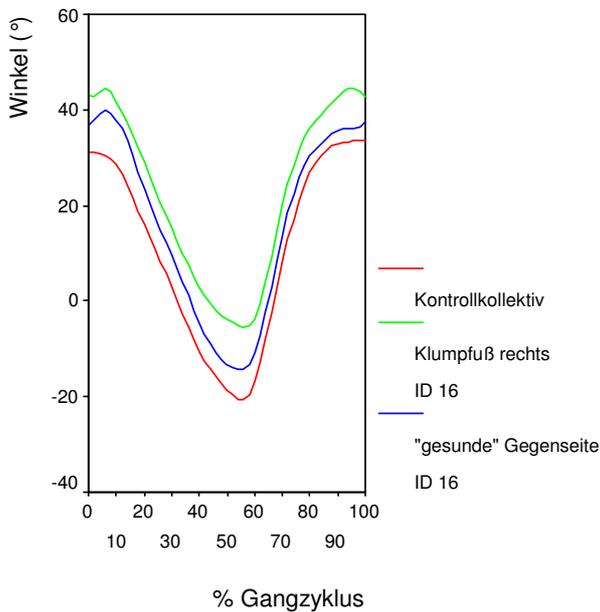


Graphik 5.3: Kinemetrise Parameter des rechten und des linken Kniegelenks eines 10jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die für beidseitige Klumpfüße tendenziell nachgewiesene erhöhte Flexion während der frühen Standphase im Vergleich zum Kontrollkollektiv kann weder für die operierte Seite noch für die "gesunde" Gegenseite nachgewiesen werden. Vielmehr verläuft die Kurve der rechten operierten Seite hier nahezu kongruent zu der des Kontrollkollektivs. Für die linke Seite zeigt sich sowohl in diesem Intervall als auch in der gesamten Standphase eine deutliche Abnahme der Flexion im Kniegelenk mitgleichzeitig verbundener Zunahme der Streckung. Hier muß wie bereits zuvor die verbliebene Klumpfußkomponente der "gesunde" Gegenseite als ursächlich angesehen werden.

Die für Kinder mit einseitigem Klumpfuß nachgewiesene Zunahme der Flexion im Kniegelenk während der mittleren Schwungphase kann ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Für die operierte Seite zeigt sich in diesem Intervall des Gangzyklus eine leichte, für die linke „gesunde“ Gegenseite eine massive Abnahme der Flexion.

Insgesamt zeigt sich entsprechend dem als gut eingestuften Ergebnis ein nahezu deckungsgleicher Kurvenverlauf der operierten Seite zu der des Kontrollkollektivs.



Graphik 5.4: Kinemetrise Parameter des rechten und des linken Hüftgelenks eines 10jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß nachgewiesene Abnahme der Extension im Hüftgelenk von der späten Standphase bis hin zur mittleren Schwungphase lässt sich auch bei dem als gut bewerteten Ergebnis nachweisen. Insgesamt ist diese Abnahme insbesondere für die operierte Seite massiv (s. Graphik 5.4). Über den gesamten Gangzyklus verlaufen die Kurven jedoch parallel.

Zusammenfassend kann für die operierte Seite sowohl in der klinischen Untersuchung als auch in der Pedobarographie und der computerunterstützten Ganganalyse ein gutes Therapieergebnis nachgewiesen werden. Dies spiegelt sich auch in der Zufriedenheit des Kindes und der Eltern wieder.

5.2. Fallbeispiel 2 (ID 11)

Das im nachfolgenden näher erörterte Kind ist ein 12jähriges Mädchen mit ehemals einseitigem Klumpfuß rechts.

Auch bei diesem Kind begann die Redressionsbehandlung mit Gipsverbänden am 1.Tag nach der Geburt. Im Anschluss daran erfolgte zu Beginn des 4. Lebensmonats die operative Spitzfußbeseitigung mittels Achillessehnenverlängerung sowie anschließender Fersenentwicklung. Die Eltern gaben an, dass ihre Tochter die verschriebenen Schienen bzw. die ab dem Lauflernalter verordneten Einlagen konsequent getragen habe. Da das Mädchen eine Beinlängendifferenz von 1,5 cm aufweist, muss sie immer noch maßangefertigte Schuhe mit rechtsseitiger Erhöhung tragen. Des Weiteren geht das Mädchen bis heute 14täglich 1x zur Krankengymnastik. Die Termine zur Nachkontrolle fanden bei einem niedergelassenen Orthopäden statt.

Innerhalb des klinischen Bewertungsschemas von Magone erreichte das Mädchen mit 65 von 100 erreichbaren Punkten ein schlechtes Ergebnis. Aufgrund der Einschränkung des Bewegungsausmaßes im oberen Sprunggelenk auf einen Bewegungsumfang von 10°, wobei eine Dorsalextension nicht möglich war, wurden 25 der bis zur vollen Punktzahl fehlenden 35 Punkte abgezogen. Weitere 3 Punkte mussten aufgrund des Vorhandenseins eines Vorfußadduktus abgezogen werden. Das Gangbild in den Schuhen mit rechtsseitiger Sohlenerhöhung war unauffällig. Barfuss wirkte der Gang jedoch aufgrund der Beinlängendifferenz unbeholfen. Der Zehengang war nicht vorführbar, wodurch ein weiterer Punktabzug um 5 Punkte zu erklären ist.



Abbildung 5.5: Schlechtes klinisches Ergebnis bei einem nach Imhäuser behandelten 12jährigen Mädchen mit ehemals Klumpfuß rechts – Ansicht von hinten.



Abbildung 5.6: Schlechtes klinisches Ergebnis bei einem nach Imhäuser behandelten 12jährigen Mädchen mit ehemals Klumpfuß rechts – Ansicht von unten.

Die äußere Form des operierten Fußes unterschied sich, neben einer Adduktionstellung im Vorfußbereich, deutlich von der der gesunden Gegenseite (siehe Abb. 5.6). Einerseits wurde eine Fußlängendifferenz von 4 cm (15,4 %) gemessen, die über dem Durchschnitt für einseitige Klumpfüße liegt, andererseits waren die Zehen Dig. II–V im

Vergleich zur Gegenseite hypoplastisch und wiesen keine Zehennägel auf. Auch bei diesem Mädchen ist die typische Klumpfußwade zu erkennen, die mit einer Differenz von 8,5 cm (23,3 %) ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt für einseitige Klumpfüße liegt.

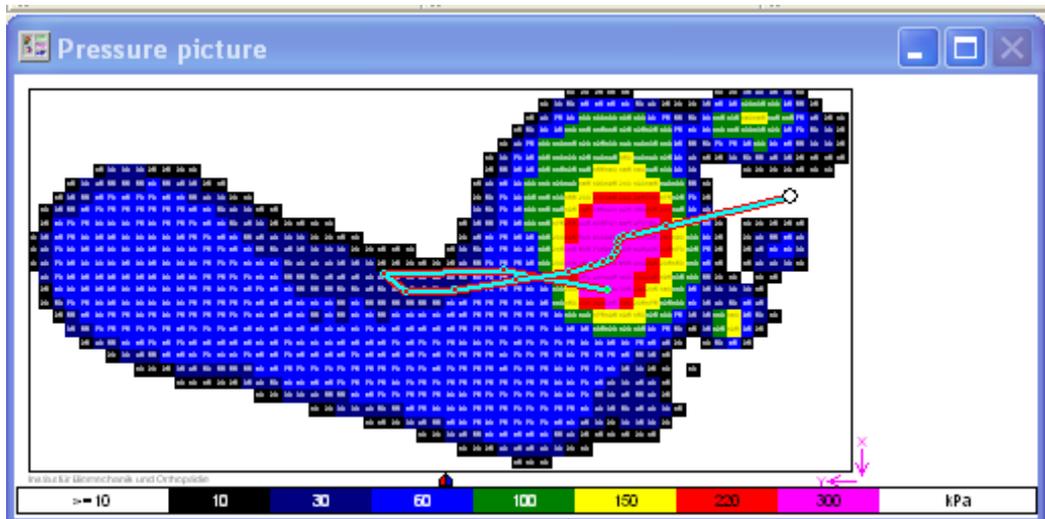


Abbildung 5.7: EMED-Druckverteilungsbild eines 12jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts.

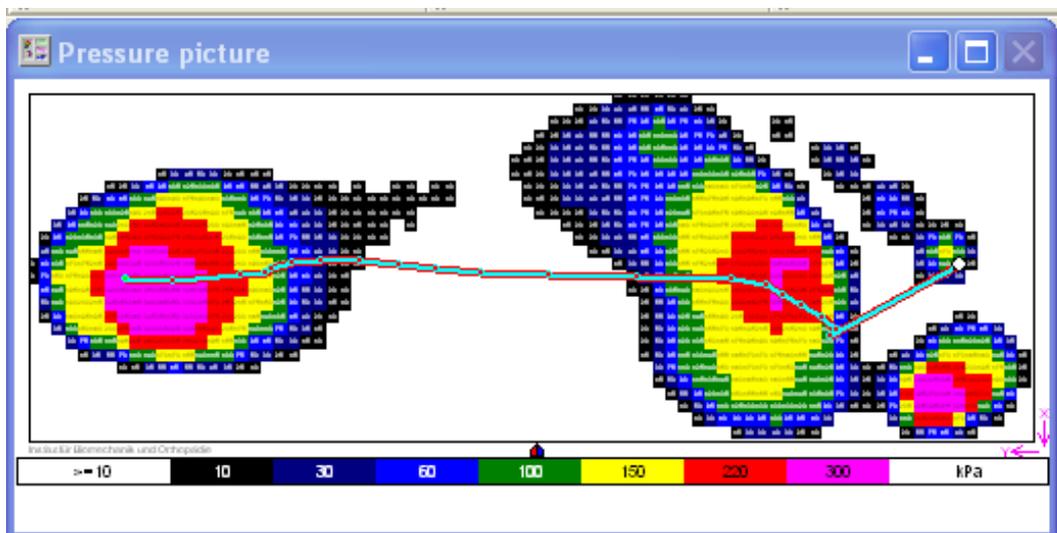
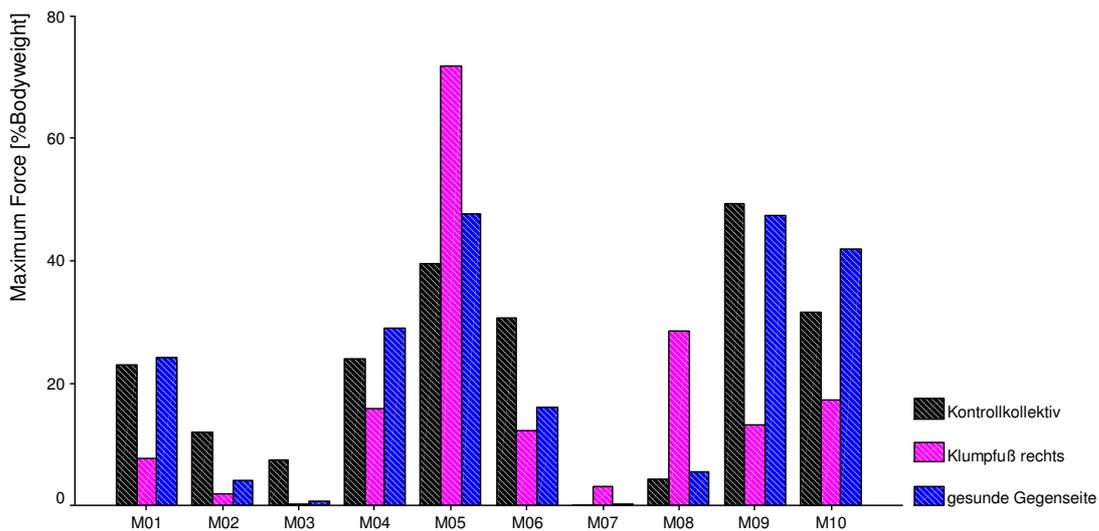


Abbildung 5.8: EMED-Druckverteilungsbild der gesunden linken Gegenseite eines 12jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts.

Die pedobarographischen Ergebnisse wurden sowohl mit der gesunden Gegenseite als auch mit dem Normalkollektiv verglichen (Graphik 5.5), um dieselben Voraussetzungen wie im Fallbeispiel 1 zu schaffen. Das Druckverteilungsmuster des operierten Fußes

spiegelt deutlich den schlechten klinischen Befund wieder (siehe Abb. 5.7). Obwohl die Patientin angab keinerlei Einschränkungen zu unterliegen, ist eindeutig das typische Abrollverhalten eines Klumpfußes oder eines Rezidives nachzuweisen. Die Belastungsfläche ist größer, obgleich der rechte Fuß im Vergleich zur gesunden Gegenseite kürzer ist.

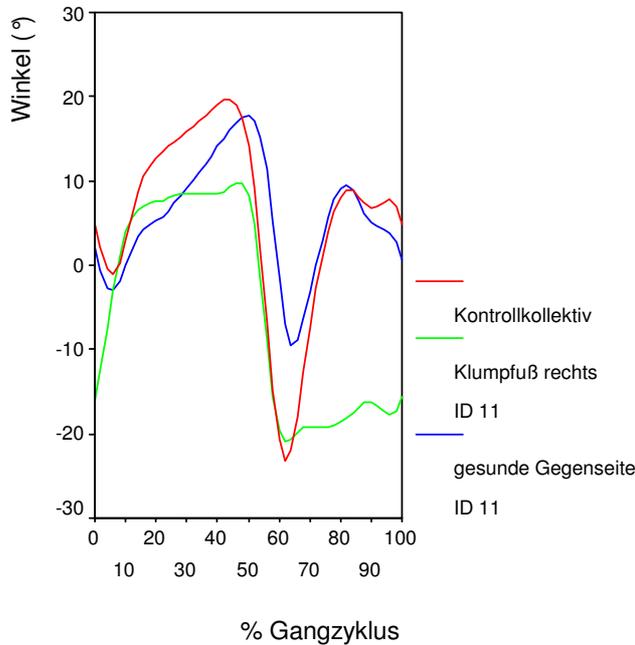


Graphik 5.5: Maximalkraftverteilung unter den Masken M01 bis M10 unter der rechten und der linken Fußsohlen eines 12jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Messungen zeigen, dass die Belastungswerte für den operierten Fuß für alle 10 Masken entweder oberhalb oder unterhalb der Durchschnittswerte des Kontrollkollektivs liegen (Graphik 5.5). Gleiches gilt auch für den Vergleich mit der gesunden Gegenseite, deren Messungen annähernd das Druckverteilungsmuster des Normalkollektivs widerspiegeln.

Bei spezieller Betrachtung der Bereiche M07, M08 und M09 können die im Vergleich zum Normalkollektiv in dieser Studie festgestellten signifikanten Unterschiede ausgemacht werden. Die Belastungszunahme im Mittelfußbereich, insbesondere die der Fußaußenkante, gibt einen Hinweis auf das Vorliegen eines Vorfußadduktus, der auch in der klinischen Untersuchung nachgewiesen werden konnte. Die verminderte Belastung im Fersenbereich, speziell im medialen Bereich, könnte ein Hinweis auf

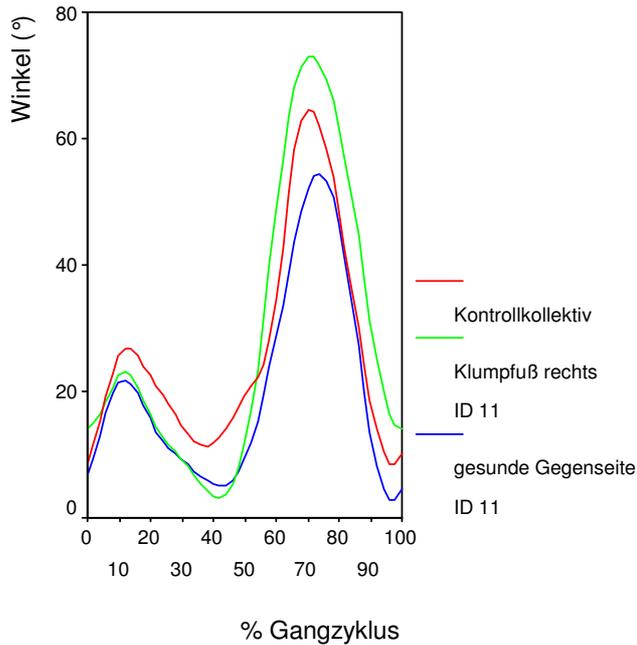
einen funktionellen Rückfußvarus sein. Die verminderten Drücke unter den Masken M02 und M03 könnten auf die hypoplastische Anlage der Zehen Dig. II-V zurückzuführen sein.



Graphik 5.6: Kinemetrise Parameter des rechten und des linken Sprunggelenks eines 12jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Messungen für den rechten operierten Fuß zeigen eine starke Abnahme der Dorsalflexion im Sprunggelenk über die gesamte Standphase. Dieser Kurvenverlauf ist deckungsgleich zu dem der „gesunden“ Gegenseite im 1. Fallbeispiel, die ebenfalls Residuen einer Klumpfußdeformität sowohl in der Pedobarographie als auch in der Ganganalyse aufwies. Die Plantarflexion verläuft bis zur Zehenablösung parallel zu der des Kontrollkollektivs. Anschließend ist die eines normalen Gangzyklus folgende Dorsalflexion jedoch erneut nicht möglich wie in Graphik 5.6 veranschaulicht ist.

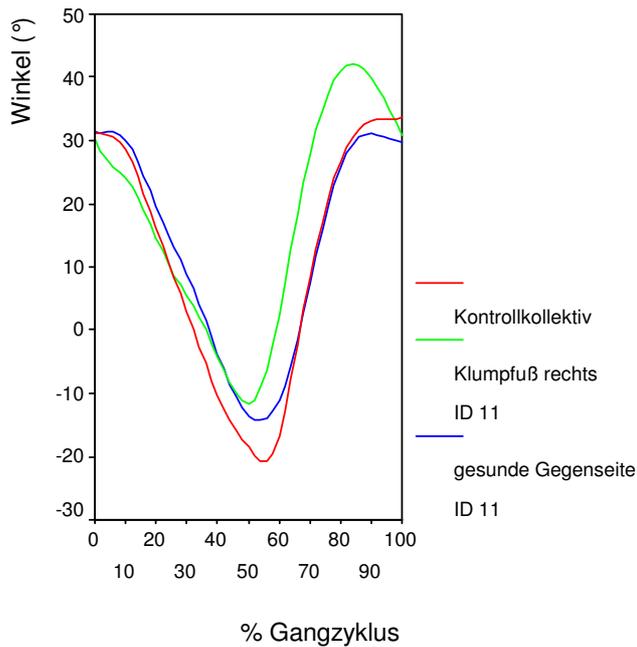
Zusammengefasst spiegeln die kinemetrise Parameter des operierten Sprunggelenks die bereits in der klinischen Untersuchung erhobene fehlende Dorsalflexion wieder und lässt eine nicht ausreichend durchgeführte Achillotenotomie vermuten, die die verbliebene Spitzfußkomponente unterhält.



Graphik 5.7: Kinemetrise Parameter des rechten und des linken Kniegelenks eines 12jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Während der Standphase verlaufen die Kurven der rechten und der linken Seiten nahezu deckungsgleich. Auch zu der des Kontrollkollektivs zeigt sich bis auf eine leichte Abnahme in der Flexion in diesem Intervall des Gangzyklus ein kongruenter Verlauf. Eine Zunahme der Flexion in der frühen Standphase, wie für beidseitige Klumpfüße im Vergleich zum Kontrollkollektiv nachgewiesen wurde, liegt in diesem Fallbeispiel nicht vor.

Die für Kinder mit einseitigem Klumpfuß erhobene Zunahme der Flexion im Kniegelenk während der mittleren Schwungphase verglichen mit der gesunden Gegenseite spiegelt sich auch in der Graphik 5.7 wieder. Allerdings ist diese Zunahme in Gegenüberstellung zur gesunden linken Gegenseite stärker als dies zum Kontrollkollektiv der Fall ist.



Graphik 5.8: Kinemetrise Parameter des rechten und des linken Hüftgelenks eines 12jährigen Mädchens mit ehemals Klumpfuß rechts im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß nachgewiesene Abnahme der Extension im Hüftgelenk im Intervall der späten Standphase bis hin zur mittleren Schwungphase lässt sich in diesem Fallbeispiel nur zum Kontrollkollektiv jedoch nicht bzw. nur minimal zur gesunden Gegenseite nachweisen. Des Weiteren zeigt sich für die operierte Seite eine Zunahme der Flexion in der späten Schwungphase.

Insgesamt wurde die operierte Seite sowohl in der klinischen Untersuchung als auch in der Pedobarographie und der computerunterstützten Ganganalyse als schlechtes Behandlungsergebnis eingestuft. Dennoch sind das Mädchen und dessen Eltern mit dem Ergebnis sehr zufrieden. Ihr Leben sei weder durch Schmerzen noch durch funktionelle Einschränkungen beeinträchtigt.

6. Diskussion

Im Rahmen der Beurteilungen und Nachkontrollen von Fußdeformitäten, wie dies auch bei den nach der Methode von Imhäuser behandelten Klumpfüßen der Fall ist, erfolgt die Bewertung des Ergebnisses anhand visueller Bewegungsanalysen. Da dies bei quantitativen Aussagen leicht zu Fehlinterpretationen führt, wurden in der Vergangenheit zahlreiche Methoden zur Ermittlung objektiver ganganalytischer Parameter entwickelt. Der menschliche Gang lässt sich durch Messung kinematischer, kinetischer und elektro-physiologischer Daten analysieren. Zur Erfassung kinematischer Parameter bedient man sich heutzutage der Videotechnik, die eine dreidimensionale Analyse von Bewegungsmustern ermöglicht. Kinetische Werte werden durch Messung von Bodenreaktionskräften bestimmt. Zur Darstellung von Druckverteilungsmustern beim Abrollvorgang unter dem Fuß kommen u.a. kapazitive Meßsysteme zum Einsatz, die unter Verwendung elektrischer Sensoren mit einer hohen örtlichen und zeitlichen Auflösung eine quantitative Erfassung sowohl statischer als auch dynamischer Bodenreaktionskräften gestatten. Die dynamische Druckverteilungsmessung wird auch als Pedographie bezeichnet [59; 65; 70].

Um im klinischen Alltag zusätzliche Informationen bezüglich eines Behandlungserfolges zu erlangen, ist sowohl die Pedobarographie als auch die computergestützte Ganganalyse ein geeignetes Diagnostikum, denn selbst geübte Beobachter können nur ungenau Gangbilder bei schlechten Behandlungsergebnissen bzw. Therapieverläufen quantifizieren. Dies zeigte Attinger in einer Studie über die subjektive Gangbeobachtung in Hinsicht auf zeitliche und belastungsmäßige Asymmetrie. Eine erfahrene Jury war nicht in der Lage, die mehr belastete Seite mit genügend großer Treffsicherheit zu benennen [3].

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich zwar ein tatsächlicher Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der klinischen Untersuchung und der subjektiven Beurteilung jedoch konnte dieser durch die computergestützten Ganganalyse nur teilweise bestätigt werden. Tendenziell konnten bei Patienten mit gutem klinischem Ergebnis und hoher Zufriedenheit meistens auch gute Druckverteilungsmuster sowie kinemetrische Parameter nachgewiesen werden, jedoch fiel bei einigen die subjektive Beurteilung

besser aus als dies die funktionellen Ergebnisse der computergestützten Ganganalyse erkennen ließen.

Die erzielten Resultate der Klumpfußbehandlung nach Imhäuser sind insgesamt in dem untersuchten Kollektiv als positiv zu bewerten.

Neben den Kinder (n = 13), deren Füße mit "gut" beurteilt wurden, erreichten weitere n = 14 ein "befriedigendes" Ergebnis.

Lediglich bei 4 Kindern (n = 5) lag ein "schlechtes" Ergebnis vor, von denen jedoch nur eines im alltäglichen Leben Einschränkungen unterlag.

Bei der Nachuntersuchung waren alle Kinder in der Lage, den Fuß zu pronieren als auch zu supinieren. Ebenso konnten sie den Fuß nach plantar beugen. In n=13 der Fälle war eine Dorsalextension nicht möglich. Hinsichtlich der Fußform wurden weder ein Spitzfußrezidiv noch ein Rezidiv im Rückfußbereich festgestellt. Vielmehr wiesen n = 17 der Fälle eine Überkorrektur in letzterem Bereich, d.h. ein Rückfußvalgus, auf. Ein Vorfußadduktus, der in seinem Ausmaß stark variierte, wurde in n = 25 der Fälle, ein Hohlfuß in 3 Fällen gesehen. Bei alle Kindern mit einseitigem Klumpfuß konnte die typische Klumpfußwade festgestellt werden. Des Weiteren wurde bei 15 Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine Verkürzung der Fußlänge gemessen.

Die Ergebnisse aus der klinischen Untersuchung und der subjektiven Beurteilung zeigen, dass die meisten Kinder im täglichen Leben auf Grund der Fehlbildung keine Nachteile erleiden. Vielmehr ist man heutzutage mit Hilfe eines umfangreichen Therapieschemas, das die fast vollständige Korrektur der Füße beinhaltet, in der Lage, den Kindern ein nahezu „normales“ Leben zu ermöglichen. Dies wird auch durch die Zufriedenheit der Patienten und deren Eltern gestützt, die den Behandlungsergebnissen ein hohes Maß an Beschwerdefreiheit sowie ausreichende Funktion im Alltag sowie bei sportlicher Aktivität bescheinigen.

Die dynamische Druckverteilung des normalen Fußes wurde bisher in der Literatur vielfach untersucht [16; 39; 40; 42; 64]. Zu Beginn der Standphase entsteht durch Aufnahme des Körpergewichts das erste Druckmaximum im Bereich der Ferse. Der Mittelfußbereich zeigt demgegenüber eine geringere Druckübernahme. Die Hauptbelastung des Vorfuß liegt über den mittleren Strahlen (Metatarsale II und III) wohingegen der erste, vierte und fünfte Strahl weniger belastet wird. Beim Abstoß verlagert sich letztlich die Druckspitze unter die Großzehe.

Die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse der Pedographie und Ganganalyse ist jedoch insgesamt insoweit problematisch als es in der Literatur einerseits meistens nur Angaben über tendenzielle Veränderungen einzelner pedographischer und ganganalytischer Parameter in Abhängigkeit vom Alter bzw. im Vergleich zu Erwachsenen gibt, und andererseits das Alter der untersuchten Kinder deutlich unter dem des hier untersuchten Klumpfußkollektivs liegt [39; 40].

Erstmals erstellten Bowen et al. 1998 Tabellen und Graphen mit absoluten Normwerten zur Druckverteilung unter der Fußsohle während dynamischer Messungen mit dem Ziel Fußdeformitäten in der Pädiatrie evaluieren zu können. Im Unterschied zu der hier vorliegenden Studie unterteilten sie die gewonnenen Fußabdrücke jedoch nur in 5 Regionen ein. Außerdem lag das Durchschnittsalter der Probanden bei 17,5 Jahren [8]. Durch die Arbeit von Liu et al. (2005) wurden diese Normwerte insofern verfeinert als sie über den Fußabdruck, entsprechend anatomischer Regionen, 9 Masken legten. Diese differierten nur in der Zusammenfassung der Bereiche unter den Zehen Dig.II-V zu einem Areal von der in dieser Studie verwendeten Einteilung. Das Alter der Kinder lag zwischen 6 und 16 Jahren [64].

Die Schwierigkeit der Definition eines "normalen" Gangbildes z.B. in Form von Normalwertetabellen liegt laut Mittelmeier darin, dass „die Bandbreite des so genannten "Normalen" unter anderem durch den Einfluss physischer und psychischer Faktoren kaum in Zahlen zu fassen ist“ [70]. Es bedarf demnach eines erfahrenen Untersuchers, der die gewonnenen Daten in Einklang mit dem klinischen Bild interpretiert. Unter diesen Voraussetzungen bietet die Pedographie und die computergestützte Ganganalyse nicht nur die Möglichkeit der Kontrolle und Dokumentation eines Behandlungsergebnisses, sondern gestattet auch den Vergleich verschiedener Behandlungsmethoden. Sie dient somit der Qualitätssicherung eines Behandlungskonzepts [75].

In dem untersuchten Klumpfußkollektiv zeigt die pedographische Analyse spezifische Veränderungen im Vergleich zur Kontrollgruppe und somit zum normalen Fuß. Diese scheinen weniger von klinischen Beschwerden bzw. subjektiven Beurteilungen abhängig zu sein als viel mehr vom Ausmaß der funktionellen Einschränkung. Liu et al. geben für den normalen Fuß bei Kindern im Alter von 6-16 Jahren eine mittlere

Kontaktfläche von 91,2 cm² an [64]. Bei dem in dieser Studie untersuchten Kontrollkollektiv im Alter von 10-14 Jahre betrug diese durchschnittlich 103,5 cm².

Bei der Analyse der Kontaktfläche der Fußsohle des Klumpfußkollektivs mit der EMED-Meßplatte zeigt sich, dass diese bei geringerer Fußlänge sowohl für einseitige als auch für beidseitige Klumpfüße verglichen mit der gesunden Gegenseite (T0 = 117,2 cm²) bzw. mit der Kontrollgruppe mit 115,9 cm² bzw. 123,5 cm² annähernd gleich bzw. größer ist. Vergleicht man beide, einseitige und beidseitige Klumpfüße, mit dem Normalkollektiv, fällt insbesondere die signifikante Zunahme der Kontaktflächen im Mittelfuß- und Fersenbereich auf. Auf Grund dieser Belastungszunahme der Weichteile unter dem Fußskelett, kommt es zu einer stärkeren Verformung desselben und damit verbunden auch zu einer verstärkten Abflachung des Fußgewölbes.

Die Maximaldrücke sowie die Spitzenkraft gemessen in % Körpergewicht der untersuchten Klumpfüße sind im Vergleich zum Kontrollkollektiv im Mittelfußbereich signifikant höher und in der Fersenregion signifikant geringer. Diese Druckunterschiede zeichnen sich tendenziell auch im Vergleich der einseitigen Klumpfüße mit ihrer gesunden Gegenseite ab. Des Weiteren zeigte sich tendenziell eine Abnahme der Maximaldrücke unter der Großzehe als Ausdruck der Gewichtsverlagerung auf den lateralen Vorfuß im Vergleich zur Norm. Dieses pathologische Druckverteilungsbild, insbesondere die verstärkte Belastung der Fußaußenkante im Mittelfußbereich und die schwächere Belastung des medialen Fersenbereichs sind charakteristisch für eine Varusstellung des Rückfußes, die ja Auswirkung auf die gesamte Stellung des Fußes hat, sowie Ausdruck einer eingeschränkten Dorsalflexion im Vergleich zur Norm. Jedoch wurde bei keinem der operierten Klumpfüße im Rahmen der klinischen Untersuchung im Stand eine Abweichung im Sinne eines Rückfußvarus diagnostiziert. Das Laufen auf der Außenkante ist ein typisches Merkmal nicht behandelter Klumpfüße oder von Klumpfußrezidiven. Für die in dieser Studie nachgewiesene Veränderung im Abrollverhalten der Kinder mit Klumpfuß muß daher entweder eine unzureichende Korrektur der Supinationskomponente oder ein funktioneller Rückfußvarus verantwortlich gemacht werden. Da zusätzlich während der Fußabwicklung der mediale Fersenbereich weniger belastet wird als dies im Normalkollektiv der Fall ist, ist letztere Ursache als wahrscheinlicher anzusehen. Diese Tatsache läßt den Schluss zu, dass entgegen der klinischen Untersuchung, bei der keine Varusfehkstellung festgestellt werden konnte, eine ungenügende Korrektur des Rückfußvarus vorliegt, der bei 78,1 %

der Kinder des untersuchten Kollektivs mit einem Vorfußadduktus assoziiert ist. Dieses Phänomen „The constant Relationship between Forefoot and Hindfoot...“ ist bereits von Imhäuser 1979 beschrieben worden [46].

Aufgrund dieser Ergebnisse ist es ratsam die Kinder weiterhin zur konsequenten Durchführung krankengymnastischer Übungen anzuhalten, um durch Stärkung der Pronatoren einem Rückfußvarus und einem sich daraus möglicherweise entwickelndem Klumpfußrezidiv entgegenwirken zu können. Dies sollte konsequent bis zum Abschluß des Wachstums erfolgen.

Die Kraftmaxima liegen bei gesunden Probanden in etwa bei 110 % des Körpergewichts [37]. In der vorliegenden Arbeit zeigten sich durchschnittlichen Werten für Kinder mit einseitigem Klumpfuß von 113,4 % Körpergewicht bzw. für Kinder mit beidseitigem Klumpfuß von 121,5 % Körpergewicht sowie für das Kontrollkollektiv von 118,7 % Körpergewicht.

Auch nach Einteilung des Klumpfußkollektivs anhand des Magone-Scores konnte für jede Gruppe das gleiche pathologische Druckverteilungsbild (siehe Graphik 4.10) nachgewiesen werden. Die verschiedenen Noten die im Rahmen des Magone scores erreicht wurden, stimmen nur in einigen Fällen mit den quantitativen Ergebnissen der Pedographie überein. So erhielten Füße, die ein „normales“ Druckverteilungsbild aufwiesen, die Note befriedigend, da die Kinder über Einschränkungen im täglichen Leben bzw. in der Funktion oder Schmerzen klagten. Andererseits, da die Kinder angaben keinen Einschränkungen zu unterliegen, wurden Füße mit befriedigend bewertet, obwohl die quantitative Analyse ein typisches Druckverteilungsbild eines unbehandelten Klumpfußes bzw. das eines Rezidives widerspiegelte.

Für das in dieser Studie nachgewiesene typische Druckverteilungsbild ist des Weiteren die limitierte Dorsalflexion im Sprunggelenk bei Kindern mit Klumpfuß verantwortlich. Diese führt zu einer Verlagerung des Gewichts von der Ferse auf den Mittelfußbereich. Gegenüber den Normwerten aus der Literatur zeigten sich in dem untersuchten Kollektiv höchst signifikante Unterschiede in dem passiven Bewegungsausmaß des Sprunggelenks für Kinder mit einseitigem Klumpfuß. Dies galt sowohl auf der betroffenen Seite mit einer durchschnittlichen maximalen Dorsalflexion von $x = 2,8^\circ$

und maximalen Plantarflexion von $x = 18,1^\circ$ als auch auf der nicht betroffenen Seite mit einer mittleren maximalen Dorsalflexion von $x = 8,1^\circ$ und maximalen Plantarflexion von $x = 26,5^\circ$. Für Kinder mit beidseitigem Klumpfuß ergaben sich durchschnittliche Werte für die maximale Dorsalflexion von $x = 3,4^\circ$ und $x = 21,9^\circ$ für die maximale Plantarflexion. In der Literatur ist einheitlich eine Abnahme der Dorsalflexion bei behandelten Klumpfüßen beschrieben. Hutchins et al. berichten über eine Dorsalflexion von 0° bei 44 % ihrer untersuchten Patienten sowie lediglich 2 Patienten mit normalem Bewegungsausmaß im Sprunggelenk [43]. In der von Cohen-Sobel et al. durchgeführten Studie wurde die mittlere Dorsalflexion mit 4° angegeben [13]. Bei dem von Aronson und Puskarich untersuchten Kollektiv findet sich bei 65 % eine verminderte Dorsalflexion mit durchschnittlich $x = 9,3^\circ$ [2].

Die Varusstellung des Rückfußes, die bereits zuvor näher erörtert wurde, hat Auswirkung auf die gesamte Stellung des Fußes. Dies wird sowohl in der Gruppe der Kinder mit einseitigem Klumpfuß als auch in der Gruppe mit beidseitigem Klumpfuß bestätigt durch signifikante Abnahme der maximalen Kraft im Vorfußbereich um 9 % Körpergewicht im Vergleich zur gesunden Gegenseite bzw. um 18 % Körpergewicht im Vergleich zum Kontrollkollektiv. Die Kraftverhältnis Rückfuß / Vorfuß bei einseitigem Klumpfuß und gesunder Gegenseite bzw. bei beidseitigem Klumpfuß und Kontrollgruppe ergaben keine statistisch signifikanten Ergebnisse.

Die Interpretation der erhobenen kinematischen Parameter im Klumpfußkollektiv für die Sagittalebene zeigte ein breitgefächertes Gangbild von unauffällig bis spitzfüßig, häufig korrelierend mit der klinischen Beurteilung nach Magone. Ein normales Gangbild lag selten vor. Für das Sprunggelenk konnte eine signifikante Abnahme der Plantarflexion bei Kindern mit beidseitigem Klumpfuß in der frühen Schwungphase sowie eine signifikante Zunahme der Dorsalflexion in der späten Standphase im Vergleich zum Kontrollkollektiv nachgewiesen werden. Dies zeichnete sich tendenziell auch bei einseitigen Klumpfüßen verglichen mit der gesunden Gegenseite ab. Diese Reduktion der Plantarflexion deckt sich mit Ergebnissen anderer Studien, die Klumpfüße, die jedoch nicht nach Imhäuser-Verfahren therapiert worden waren, untersuchten [17; 54; 90]. Die nicht signifikante Abnahme der Plantarflexion bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß verglichen mit der gesunden Gegenseite findet sich auch bei Karol et al. (1997) sowie Davies et al. (2001), jedoch kann bei letzteren im

Vergleich mit dem zugrunde gelegten Normalkollektiv eine signifikante Reduktion nachgewiesen werden. Dies lässt die Vermutung zu, dass die gesunde Gegenseite nicht als Kontrollgröße verwendet werden darf [16; 54]. Die von Bach et al. (2002) zudem beschriebene signifikante Abnahme der Dorsalflexion während der mittleren Schwungphase zeigt sich in den der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Messungen nur tendenziell ohne Nachweis einer statistischen Signifikanz [4].

Die Auswertung der Daten für das Kniegelenk zeigte bei Kindern mit einseitigem Klumpfuß eine statistisch signifikante Zunahme der Flexion während der Beschleunigungsphase im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Für Kinder mit beidseitigem Klumpfuß lag verglichen mit dem Kontrollkollektiv ein nahezu normales Gangbild vor, lediglich zeichnete sich tendenziell eine erhöhte Flexion während der frühen Standphase ab.

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Bereich der Hüftgelenke ergaben eine signifikante Abnahme der Hüftextension während der späten Standphase bis hin zur mittleren Schwungphase im Vergleich der einseitigen Klumpfüße mit ihrer gesunden Gegenseite. Diese Reduktion der Extension im Hüftgelenk wurde ebenfalls von Karol et al. bei Klumpfüßen nach posteromedialen Release beobachtet [54]. Bei den hier untersuchten Kindern mit beidseitigem Klumpfuß konnte diese Abnahme der Extension verglichen mit dem Kontrollkollektiv nicht nachgewiesen werden.

Insgesamt zeigten sich sehr asymmetrische Ergebnisse und Daten hinsichtlich ganganaly-tischer Parameter in der Sagittalebene, die aller Wahrscheinlichkeit nach mit einer kontrakten Wadenmuskulatur und möglicherweise knöchernen Veränderungen im oberen Sprunggelenk assoziiert sind. Während des Gangzyklus stellt sich die maximale Dorsalflexion des Sprunggelenks anders dar als dies in der klinischen Messung der Fall ist, da während des Gehens passive Momente auftreten. Die Abnahme der maximal möglichen Plantarflexion im Klumpfußkollektiv muß als Hinweis auf eine geringere Kraftentfaltung der Wade gesehen werden und kann außerdem durch mögliche Ausbildung eines Flat-top Talus begründet sein. In einem von Bach et al. 2002 untersuchten, 19 Klumpfüße umfassenden Kollektiv zeigte sich, dass die Reduktion der dynamischen Plantarflexion direkt abhängig von der Abflachung des Talus ist [43].

EMG- und isokinetische Messungen könnten mögliche weitere Erklärungsansätze liefern. Karol et al. untersuchten 1997 hierzu bereits eine Gruppe von 23 asymptomatischen Kindern nach Klumpfußbehandlung. Im Gegensatz zu der hier vorliegenden Arbeit war nicht ein einheitliches Therapieschema Voraussetzung zur Teilnahme in der Studie, sondern ein gutes Outcome. Für dieses Kollektiv konnte eine Schwäche des Gastrosoleus nachgewiesen werden, der außerdem als Folge der Achillotenotomie angesehen und nicht der ehemaligen Klumpfußdeformität zugeschrieben wurde [54]. Auch Davies et al. (2001) sahen auf Grund einer eingeschränkten Sprunggelenksbeweglichkeit bei den durch sie untersuchten Patienten nach posteromedialen Release bzw. auch mehrfachen operativen Eingriffen Unterschiede der Kinematik und Kinetik im Bereich der Knie- und Hüftgelenke verglichen mit der Norm. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass die Schwäche des Gastrosoleus ursächlich für die reduzierte Plantarflexion in der Abstoßungsphase war [17].

Insgesamt lassen in der vorliegenden Arbeit sowohl die Pedographie als auch die Ganganalyse im Vergleich zur Norm Asymmetrien erkennen, obwohl die meisten Patienten subjektiv völlig beschwerdefrei waren und klinisch bis auf eine eingeschränkte Sprunggelenksbeweglichkeit keine weiteren verifizierbaren Bewegungseinschränkungen festgestellt werden konnten. Dies unterstreicht warum sowohl die Druckverteilung als auch die computerunterstützte Ganganalyse in den letzten Jahren in vielen Bereichen an Bedeutung gewonnen hat. Mit ihrer Hilfe ist es möglich geworden ein pathologisches Gangbild zu evaluieren und zu quantifizieren. Folglich gewinnt der Untersucher einen besseren Einblick in die Art des Defizits und die Kompensationsmechanismen des Patienten [57].

Voraussetzung für den Einsatz der computergestützte Ganganalyse sind neben dem benötigten Equipment geeignete Räumlichkeiten, sowie die Unterweisung des Klinikpersonals in die Durchführung der Messungen. Neben einem Zeitaufwand von einer Stunde pro Patient, muss der Untersucher bei der Messung von Kindern, je nach Kooperativität, zusätzlich eine Menge Geduld haben. Hinzu kommen noch Vorbereitungen wie Anbringen der Marker am Patienten und Kalibration der Anlage. Insgesamt zeigt dies die eingeschränkten Einsatzmöglichkeiten bei routinemäßigen Kontrolluntersuchungen auf. Dieser doch hohe Zeitaufwand könnte des Weiteren die Einwilligung der Eltern zu dieser Untersuchung maßgeblich negativ beeinflussen, da sie

ja ohnehin bereits durch das intensive Behandlungsschema nach Imhäuser sehr viel Zeit in Klinik- und Arztbesuche sowie in die Durchführung krankengymnastischer Übungen investieren. Im Gegensatz zu beispielsweise röntgenologischen Untersuchungen, kann diese Untersuchungsmethode jedoch beliebig oft ohne gesundheitliche Nebenwirkungen durchgeführt werden, um Erkenntnisse bezüglich eines Behandlungserfolges und eine quantitative Beurteilung des Gangbildes gewinnen zu können. Dennoch lässt diese Art der Analyse nur beschränkte Aussagen über die inneren funktionellen Vorgänge zu und bedarf daher immer zusätzlich der klinischen Untersuchung durch einen erfahrenen Kliniker [65].

Ein weiterer wichtiger Aspekt um diese diagnostischen Tests in die klinische Routine-diagnostik einführen zu können, sind adäquate Kosten der Verfahren. Da die Einrichtung eines Ganglabors jedoch mit hohen finanziellen Ausgaben verbunden ist, wird dieses diagnostische Hilfsmittel wohl nur in orthopädischen Zentren zur Anwendung kommen oder in Kooperation mit biomechanischen Instituten seinen Einsatz in der Therapiekontrolle des Klumpfußes finden. Als Voraussetzung, um einen klinischen Test etablieren zu können, müssen die durch ihn gewonnenen Daten derart formuliert sein, dass sie in Einklang mit einem klinischen Konzept gebracht werden können. Dieser Anforderung wird sowohl die Druckverteilung als auch die computergestützte Ganganalyse gerecht.

Da in dem hier untersuchten Kollektiv insbesondere bei allen klinisch schlechten Ergebnissen in der Druckverteilung das für einen Rückfußvarus typische Belastungsmuster nachgewiesen werden konnte, ist ein frühzeitiger Einsatz der Pedographie im Rahmen der Nachuntersuchungen in diesen nach Magone als schlecht beurteilten Füßen zu diskutieren. Möglicherweise könnten so Veränderung der Belastung früher diagnostiziert und somit ein drohendes Rezidiv vorzeitig, d.h. früher als durch klinische Untersuchungen, erkannt werden.

Bei besonders schlechten Verläufen oder schwerem Ausmaß der Deformität könnten die Pedobarographie und die computergestützte Ganganalyse daher als Ergänzung zum bestehenden Nachkontrollenprocedere einen wertvollen Beitrag zur Objektivierung der subjektiven Gangbeobachtung leisten bzw. der Überwachung der von der Fußdeformität ausgehenden Sekundärschäden in Sprung-, Knie- und Hüftgelenk dienen. Zusätzlich kann mit Hilfe dieser diagnostischen Hilfsmittel, unter Einbeziehung der klinischen

Befunde, das weitere Procedere in Hinsicht auf zusätzlich erforderliche Maßnahmen wie z.B. intensivierte Krankengymnastik, erneute Einlagenversorgung oder korrigierende Sehnen-Transposition genau festgelegt werden.

Insgesamt ist der Kliniker jedoch immer und besonders in diesen Fällen auf eine gute Kooperation der Eltern angewiesen. Ohne die elterliche Bereitschaft zur Durchführung häuslicher Krankengymnastik und Anwendung von Orthesen sowie regelmäßige Wahrnehmung der Kontrolluntersuchungen lassen sich zufriedenstellende Ergebnisse trotz optimierter Nachbehandlungsschemata unter Einbeziehung neuer technischer Möglichkeiten nur schwerlich erzielen.

Zusammengefaßt zeigt sich im Rahmen dieser Studie, dass das Imhäuser-Verfahren, wie es an der Orthopädischen Universitätsklinik Köln verfolgt wird, insgesamt mehr als zufriedenstellende Resultate liefert. Diese Methode erzielt mit einer kleinen, nur gering invasiven Operation sehr gute Ergebnisse. Zwar beansprucht dies eine Reihe von Autoren, die anderen Verfahren anwenden, ebenfalls für sich, jedoch ist eine Vergleichbarkeit mit deren Studien aufgrund uneinheitlich aufgebauter Kollektive sowie nicht standardisierter Bewertungsschemata nur bedingt möglich.

Cooper et al. untersuchten beispielsweise 1995 ein Klumpfußkollektiv mit $n = 71$ Füßen, deren Endergebnis bei 78 % als gut bzw. befriedigend beurteilt wurde, ähnlich dem Endresultat der vorliegenden Studie, jedoch wurde im Rahmen der Pedographie der Fuß in nur 5 Masken eingeteilt und das durchschnittliche Alter des Patientengut lag bei 35 Jahren [14]. Die 1994 von Widhe und Berggren veröffentlichte Studie wies ein Kollektiv von 62 Klumpfüßen auf. Bei der Druckverteilung wurden die Abdrücke lediglich in 3 Masken unterteilt, das Alter der Kinder lag zwischen 4-15 Jahren [93].

Auch die in dieser Arbeit eigenen erhobenen Befunde sind nicht alle zufrieden stellend. Insbesondere die Adductus- und Varusstellung sowie die häufig nachgewiesene Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk müssen in Zukunft mehr Beachtung finden. Um die erhobenen Daten jedoch als allgemein gültiges Kriterium für nach dem Imhäuser-Schema behandelte Klumpfüße interpretieren zu können, bedarf es weiterer Analysen mit größeren Fallzahlen sowie longitudinaler Studien anhand derer der Verlauf bzw. die Veränderung dieser Merkmale registriert werden kann.

7. Zusammenfassung

Die Korrektur des idiopathischen Klumpfußes erfolgt an der Orthopädischen Universitäts-klinik Köln seit Jahrzehnten nach der Methode von Imhäuser. Die im Anschluss an die Formkorrektur in regelmäßigen Abständen angebotenen Kontrolluntersuchungen beinhalten klinische Untersuchungen und Ganganalysen.

Ziel dieser Arbeit war daher zu untersuchen inwieweit die klinische Ganganalyse und Untersuchung mit pedographisch und ganganalytisch gewonnenen Ergebnissen korreliert. Hierzu fehlen in der Literatur bisher konkrete Untersuchungen und Daten. In der vorliegenden Studie ermöglichte die computergestützte Ganganalyse aufgrund der Visualisierung pathologischer Belastungsmuster eine präzisere Beurteilung der Resultate im Rahmen der Klumpfußbehandlung als dies bei der klinischen Untersuchung möglich gewesen ist. Sie liefert also Erkenntnisse, die nicht direkt von einem erfahrenen Kliniker diagnostiziert werden können.

24 Kinder im Alter von 10-15 Jahren wurden nach durchgeführter Klumpfußoperation (ein- und beidseitig) nach der Imhäuser-Methode neben einer klinischen Untersuchung einer quantitativen 3-dimensionalen kinematischen und kinetischen Ganganalyse unterzogen. Hierbei kamen das VICON 624-Bewegungsanalyzesystem sowie das kapazitive Meßsystem EMED-NOVEL zum Einsatz. Mit Hilfe der Pedobarographie konnten pathologische Belastungsmuster aufgedeckt werden wie ein funktioneller Rückfußvarus, der in allen Gruppen des untersuchten Kollektivs zu finden ist, verbunden mit einer verstärkten Belastung der Fußaußenkante sowie verminderte Belastung der Fußinnenkante mit Zunahme der Maximaldrücke im Mittelfußbereich und Abnahme im medialen Fersenbereich. Die erhobenen kinematischen Parameter in der Sagittalebene zeigten neben zahlreichen Asymmetrien im Vergleich zur Norm bzw. zur gesunden Gegenseite im gesamten Klumpfußkollektiv eine signifikante Abnahme der Plantarflexion während der frühen Schwungphase.

Beim Vergleich der Ergebnisse der klinischen Untersuchung nach Einteilung mit Hilfe des Magone Scores, in den auch das subjektive Empfindungen des Patienten einfließt, mit denen der computergestützten Ganganalyse stellten sich nicht immer eindeutige Zusammenhänge zwischen beiden heraus. So wiesen Kinder mit gutem klinischem Ergebnis zwar auch gute pedographische und ganganalytische Resultate auf, während schlechte Ergebnisse häufig mit pathologischen Druckverteilungsbildern sowie

kinematischen Parametern korrelierten, jedoch konnten die oben angeführten Veränderungen im Druckverteilungsmuster und in den kinematischen Daten auch fast immer bei Kindern mit als gut befundenen Endresultaten nachgewiesen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Rahmen des Imhäuser-Verfahrens operativ versorgte Klumpfüße in der Pedographie und Ganganalyse spezifische Veränderungen zum Normalkollektiv zeigen, die zwar insgesamt vom Grad der funktionellen Beeinträchtigung abhängig sind, aber dennoch völlig neue Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung der Nachkontrollen bilden.

Die computergestützte Ganganalyse stellt im Rahmen der Nachuntersuchung zwar keine Diagnose, kann aber zur Beschreibung des Grades der funktionellen Beeinträchtigung herangezogen werden und somit unter Berücksichtigung der Grenzen der Methode als wertvolle Hilfe zur Objektivierung der subjektiven Gangbeobachtung gesehen werden.

Insgesamt sind die Langzeiterfolge des Behandlungsschemas nach Imhäuser in dem untersuchten Kollektiv mehr als zufrieden stellend und unterstreichen die Richtigkeit der von Imhäuser propagierten Methode zur Behandlung von Klumpfüßen. Mit Hilfe der durch Ganganalyse und Pedographie zusätzlich gewonnenen Erkenntnisse kann diese jedoch noch optimiert werden.

8. Literaturverzeichnis

- 1) Aharonson Z., Voloshin A., Steinbach T.V., Brull M.A., Farine I.: „Normal Foot-Ground Pressure Pattern in Children”, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 150, (1980), 220-223
- 2) Aronson J., Puskarich C.L.: „Deformity and Disability From Treated Clubfoot”, *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 10, (1990), 109-119
- 3) Attinger D.: „Subjektive Gangbeobachtung im Vergleich zu gemessener Asymmetrie“, *Swiss Med.*, 9, (1987), 58-61
- 4) Bach C.M., Wachter R., Stöckl B., Göbel G., Nogler M., Frischhut B.: „Significance of Talar Distortion for Ankle Mobility in Idiopathic Clubfoot“, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 398, (2002), 196-202
- 5) Bernbeck R., Dahmen G.: *Kinderorthopädie*, Stuttgart, Thieme Verlag, (1976), 44-59
- 6) Bertoti D.B.: „Effect of Short Leg Casting on Ambulation in Children with Cerebral Palsy”, *Physical Therapy*, 66, (1986), 1522-1529
- 7) Boulton A.J.M.: „The importance of abnormal foot pressures and gait in the causation of foot ulcers”, In Connor H.; Boulton A.J.M. and Ward J.P., (Hrsg.) *The foot in diabetes*, Chichester: Wiley, (1989), 11-21
- 8) Bowen T.R., Miller F., Castagno P., Richards J., Lipton G.: „A Method of Dynamic Foot-Pressure Measurement for the Evaluation of Pediatric Orthopaedic Foot Deformities”, *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 18, (1998), 789-793
- 9) Braun G.L.: „Kinesiology: From Aristotle to the Twentieth Century“, *Research Quarterly*, 12, (1941), 163-173

- 10) Brunner W., Kurz B., Diebschlag W.: „Kapazitives Druckverteilungsmeßsystem für hohe Meßstellendichte“, *Biomedizinische Technik*, 28, (1983), 221-224
- 11) Carmines D.V., Nunley J.A., McElhaney J.H.: „Effects of Ankle Taping on the Motion and Loading Pattern of the Foot for Walking Subjects“, *Journal of Orthopaedic Research*, 6, (1988), 223-229
- 12) Chodera J.D., Lord M.: „Pedobarographic Foot-Pressure Measurements And Their Applications“, In Kenedi R.M., *Disability, Proceedings of a seminar on rehabilitations of the disabled*, London: Macmillian Press, (1979), 173-181
- 13) Cohen-Sobel E., Caselli M., Giorgini R., Giorgini T., Stummer S.: „Long-Term Follow-up of Clubfoot Surgery: Analysis of 44 Patients“, *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 32, (1993), 411-423
- 14) Cooper D.M., Dietz F.R.: „Treatment of Idiopathic Clubfoot. A Thirty-Year Follow-Up Note“, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 77-A, (1995), 1477-1489
- 15) Ctercteko G.C., Dhanendran M., Hutton W.C., Le Quesne L.P.: „Vertical forces acting on the feet of diabetic patients with neuropathic ulceration“, *British Journal of Surgery*, 68, (1981), 608-614
- 16) Davies T.C., Kiefer G., Zernicke R.F.: „Ankle and First Metatarsophalangeal Joint Dorsiflexion in Children With Clubfoot“, *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 21, (2001), 727-730
- 17) Davies T.C., Kiefer G., Zernicke R.F.: „Kinematics and Kinetics of the Hip, Knee and Ankle of Children With Clubfoot After Posteromedial Release“, *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 21, (2001), 366-371
- 18) Debrunner A.: *Orthopädie: die Störungen des Bewegungsapparates in Klinik und Praxis*, Nachdruck der 2. durchgesehenen und ergänzten Auflage, Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Toronto, (1988)

- 19) Debrunner H.: Der angeborene Klumpfuß, Stuttgart, Enke-Verlag, (1936)
- 20) Debrunner H.U.: „Biomechanik des Fußes“, Bücherei des Orthopäden, Bd. 49, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, (1985)
- 21) Debrunner H.U.: „Geschichte der Ganguntersuchung“, Medizinisch-Orthopädische Technik, 6, (1977), 155-156
- 22) Dewar M.E., Judge G.: „Temporal asymmetry as a gait quality indicator“, Medical & Biological Engineering & Computing, 18, (1980), 689-693
- 23) Diebschlag W.: „Die Druckverteilung an der Fußsohle des Menschen im Stehen und Gehen, barfuß und im Schuh“, Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete, 120, (1982), 814-820
- 24) Döderlein L.: Der Klumpfuß, Springer-Verlag, (1999)
- 25) Elftman H.: „A Cinematic Study Of The Distribution Of Pressure In The Human Foot“, The Anatomical Record, 59, (1934), 481-487
- 26) Ellis M., Howe A.: „A clinical gait analysis system“, Engineering in Medicine, 16, (1987), 217-220
- 27) Emed System, Novel GmbH- Prospekt
- 28) Epeldegui T., Delgado E.: „Acetabulum pedis. Part I: Talocalcaneonavicular joint socket in normal foot“, Journal of Pediatric Orthopaedics, 4, (1995), 1-10
- 29) Epeldegui T., Delgado E.: „Acetabulum pedis. Part II: Talocalcaneonavicular joint socket in clubfoot“, Journal of Pediatric Orthopaedics, 4, (1995), 11-16
- 30) Feldbrin Z., Gilai A.N., Ezra E., Khermosh O., Kramer U., Wientroub S.: „Muscel Imbalance In The Aetiology Of Idiopathic Club Foot“, The Journal of Bone and Joint Surgery (Br.), 77-B, (1995), 596-601

- 31) Froböse I.: „Kinemetrische und dynamometrische Analyse des Bewegungsverhaltens zerebralparetischer Kinder und seine Veränderungen nach Durchführung einer intensiven Sport- und Bewegungstherapie“, *Rehabilitation*, 31, (1992), 124-128
- 32) Fukuhara K., Schollmeier G., Uthoff H.K.: „The Pathogenesis Of Club Foot. A Histomorphometric And Immunohistochemical Study Of Fetuses“, *The Journal of Bone and Joint Surgery (Br.)*, 76-B, (1994), 450-457
- 33) Funke R., Neuhäuser G.: „Ganganalyse mit Hilfe der Motografie bei gesunden Kindern und bei Patienten mit neurologischen Störungen“, *Klin. Pädiatr.*, 200, (1988), 434-437
- 34) Graf P.M.: „The EMED System of Foot Pressure Analysis“, *Clinics In Podiatric Medicine And Surgery*, 10, (1993), 445-454
- 35) Grill F.: „Der Klumpfuß“, *Orthopäde*, 25, (1996), 364-378
- 36) Handelsman J.E., Badalamente M.A.: „Neuromuscular Studies in Clubfoot“, *Journal of Pediatric Orthopedics*, 1, (1981), 23-32
- 37) Harris G.F., Wertsch J.J.: „Procedures for Gait Analysis“, *Arch Phys Med Rehabil*, 75, (1994), 216-225
- 38) Henkel H.L.: „Die Behandlung des angeborenen Klumpfuß im Säuglings- und Kindesalter“, *Bücherei des Orthopäden*, Bd.12, Enke-Verlag, Stuttgart, (1974)
- 39) Hennig E.M., Rosenbaum D.: „Pressure Distribution Patterns under the Feet of Children in Comparison with Adults“, *Foot & Ankle*, 11, (1991), 306-311
- 40) Hennig E.M., Staats A., Rosenbaum D.: „Plantar pressure distribution patterns of young school children in comparison to adults“, *Foot & Ankle international*, 15, (1994), 35-40

- 41) Hirokawa S.: „Normal gait characteristics under temporal and distance constraints”, J. Biomed. Eng., 11, (1989), 449-456
- 42) Hughes J., Pratt L., Linge K., Clark P., Klenerman L.: „Reliability of pressure measurements: the EMED F system“, Clinical Biomechanics, 6, (1991), 14-18
- 43) Hutchins P.M., Foster B.K., Paterson D.C., Cole E.A.: “Long-term Results of Early Surgical Release in Club Feet”, The Journal of Bone and Joint Surgery, 67-B, (1985), 791-799
- 44) Imhäuser G.: „Die operative Behandlung des angeborenen Klumpfuß im Säuglings-, Spiel- und Schulalter“, Medizinisch-Orthopädische Technik, 6, (1974), 141-149
- 45) Imhäuser G.: „Prinzipien der orthopädisch-technischen Versorgung des Klumpfußes“, Med. Orthop. Technik 100, (1980), 92-95
- 46) Imhäuser G.: „The Constant Relationship between Forefoot and Hindfoot as a Basis for Treating Foot Deformities“, Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery 94, (1979), 205-208
- 47) Imhäuser G.: „Was bedeutet ein verkleinerter Winkel zwischen Talus- und Kalkaneuslängsachse im Röntgenbild des angeborenen Klumpfußes?“, Archiv für orthopädische und Unfall-Chirurgie 88, (1977), 163-167
- 48) Imhäuser G.: Die Behandlung des idiopathischen Klumpfußes, Stuttgart, Enke-Verlag, (1984)
- 49) Ippolito E., Ponseti I.: „Congenital Club Foot in the Human Fetus“, The Journal of Bone and Joint Surgery (Am), 62-A, (1980), 8-22
- 50) Irani R., Sherman M.: „The Pathological Anatomy of Club Foot“, Journal of Bone and Joint Surgery, 45-A, (1963), 45-52

- 51) Isaacs H., Handelsman J.E., Badenhorst M., Pickering A.: „The Muscles In Club Foot- A Histological, Histochemical And Electron Microscopic Study“, The Journal of Bone and Joint Surgery, 59-B, (1977), 465-472
- 52) Kadaba M.P., Ramakrishnan H.K., Wootten M.E., Gainey J., Gorton G., Cochran G.V.B.: „Repeatability of Kinematic, Kinetic, and Electromyographic Data in Normal Adult Gait“, Journal of Orthopaedic Research, 7, (1989), 849-860
- 53) Kadaba M.P., Ramakrishnan H.K., Wootten M.E.: „Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking“, Journal of Orthopaedic Research, 8, (1990), 383-392
- 54) Karol L.A., Concha M.C., Johnston C.E.: „Gait Analysis and Muscle Strenght in children with Surgically Treated Clubfeet“, Journal of Pediatric Orthopaedics, 17, (1997), 790-795
- 55) Keld D.N., Hvid I., Moller-Madsen B.: „Plantar Pressure Distribution Pattern In Children Operated On For Clubfoot“, VIII emed scientific meeting - Kananaskis, Alberta, (2002), 61
- 56) Kite J.H.: „The Clubfoot“, Grune und Stratton, New York, (1964)
- 57) Kopf A., Pawelka S., Kranzl A.: „Klinische Ganganalyse- Methoden, Limitationen und Anwendungsmöglichkeiten“, Acta Med. Austriaca, 1, (1998), 27-32
- 58) Kristen K.H., Kastner J., Holzreiter S., Wagner P., Engel A.: „Funktionelle Beurteilung von Kinderschuhen anhand der Ganganalyse von Kindern im Lauflernalter“, Z. Orthop., 136, (1998), 457-462
- 59) Laaveg S.J., Ponseti I.V.: „Long-Term Results of Treatment of Congenital Club Foot“, Journal of Bone and Joint Surgery, 62-A, (1980), 23-30

- 60) Lampe R., Mitternacht J., Schrödel S., Gerdesmeyer L., Nathrath M., Gradinger R.: „Einsatz des Ganglabors bei klinisch-orthopädischen Fragestellungen in der Kinderorthopädie“, *Klin. Pädiatr.*, 216, (2004), 72-78
- 61) Law H.T.: „Microcomputer-Based Low-Cost Method For Measurement Of Spatial And Temporal Parameters Of Gait“, *J. Biomed. Eng.*, 9, (1987), 115-120
- 62) Lereim P., Serck-Hanssen F.: „A Method Of Recording Pressure Distribution Under The Sole Of The Foot“, *Bulletin of Prosthetics Research*, (1973), 118-125
- 63) Li J., Wyss U.P., Costigan P.A., Deluzio K.J.: „An integrated procedure to assess knee-joint kinematics and kinetics during gait using an optoelectric system and standardized X-rays“, *J. Biomed. Eng.*, 15, (1993), 392-399
- 64) Liu X.C., Thomez J.G., Tassone C., Barker B., Lyon R.: „Dynamic Plantar Pressure Measurement for the Normal Subject“, *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 25, (2005), 103-106
- 65) Lüthi S.: „Die quantitative Beurteilung des menschlichen Ganges“, *Swiss Med.*, 9, (1987), 31-34
- 66) Magone J.B., Torch M.A., Clark R.N., Kean J.R.: „Comparative Review of Surgical Treatment of the Idiopathic Clubfoot by Three Different Procedures at Columbus Children`s Hospital“, *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 9, (1989), 49-58
- 67) Mau C.: „Der Klumpfuß“, *Ergebnisse der Chirurgie*, Bd. 20, Berlin, (1927), 361-506
- 68) McKay D.W.: „New Concept of and Approach to Clubfoot Treatment: Section I- Principles and Morbid Anatomy“, *Journal of Pediatric Orthopedics*, 2, (1982), 347-356
- 69) Meyer H.: „Die Individualitäten des aufrechten Ganges“, *Müller`s Archiv*, (1853), 548-573

- 70) Mittlmeier T., Morlock M.M: „Statische und dynamische Belastungsmessungen am posttraumatischen Fuß“, Orthopäde, 20, (1991), 22-32
- 71) Morcuende J.A., Dolan L.A., Dietz F.R., Ponseti I.V.: „Radical Reduction in the Rate of Extensive Corrective Surgery for Clubfoot Using the Ponseti Method“, Pediatrics, 113, (2004), 376-380
- 72) Morton D.J.: „Structural Factors In Static Disorders Of The Foot“, American Journal of Surgery, 9, (1930), 315-328
- 73) Nicol K., Hennig E.M.: „Time-dependent method for measuring force distribution using a flexible mat as a capacitor“, In: Komi, P., (Hrsg.) Biomechanics V-B, Baltimore: University Park Press, (1976), 433-440
- 74) Novel Emed Systems, www.novel.de/emed.htm
- 75) Obens T.: “Ganganalyse und plantare Druckverteilungsmessung – Hilfsmittel für den Orthopädie-Techniker”, Orthopädie-Technik; (2000), 798-806
- 76) Perry J.: Gait analysis. Normal and Pathological Function, Thorofare, SLACK, (1992)
- 77) Rabl C.R.H.: „Entstehung und Behandlung des angeborenen Klumpfußes“, Med. Klin., 23, (1961), 1017-1020
- 78) Robertson W.W., Corbett D.: „Congenital Clubfoot“, Clinical Orthopaedics and related research, 338, (1997), 14-18
- 79) Rodgers M.M., Cavanagh P.R.: „Pressure distribution in Morton`s foot structure“, Medicine And Science in Sports And Exercise, 21, (1989), 23-28
- 80) Schaff P., Hauser W.: „Dynamische Druckverteilungsmessung mit flexiblen Messmatten - ein innovatives Meßverfahren in der Sportorthopädie und Traumatologie“, Sportverletzung - Sportschaden, 4, (1987), 185-222

- 81) Schaff P., Kirsch D., Frey S., Mehnert H.: „Dynamische Druckverteilungsmessungen unter der Fußsohle. Standardisierung der Pedographie“, Aktuelle Endokrinologie und Stoffwechsel, 8, (1987), 127-131
- 82) Schaff P., Kirsch D., Hauser W., Mehnert H.: „Eine Geräteentwicklung zur Messung der Druckverteilung unter der Fußsohle im Schuh und deren Anwendbarkeit in der Diabetologie“, Aktuelle Endokrinologie und Stoffwechsel, 7, (1986), 129-135
- 83) Schlicht D.: „The Pathological Anatomy Of Talipes Equino-Varus“, The Australien and New Zealand Journal of Surgery, 33, (1963), 2-11
- 84) Schwartz R.P., Heath A.L.: „The Definition Of Human Locomotion On The Basis Of Measurement. With Description Of Oscillographic Method“, The Journal of Bone and Joint Surgery, 29, (1947), 203-214
- 85) Speer C., Gahr M.: Pädiatrie, Springer-Verlag, (2001)
- 86) Steinwender Ch., Maizen C., Hausbrandt D.: „Neue Trends in der Behandlung von Fußdeformitäten“, In: Neue Trends in der Kinderorthopädie, Univ. Klinik für Kinderchirurgie Graz, (2000)
- 87) Steinwender G., Zwick B., Saraph V.: „Infantile Zerebralparese - Aus dem Rollstuhl auf die Beine“, In: Neue Trends in der Kinderorthopädie, Univ. Klinik für Kinderchirurgie Graz, (2000)
- 88) Stewart S.F.: „Club-Foot: Its Incidence, Cause and Treatment“, The Journal of Bone and Joint Surgery, 33-A, (1951), 577-590
- 89) Stumbaum F., Diebschlag W.: „Meßsystem zur Erfassung von Druckverteilung zwischen Mensch und Sitzmöbel“, Biomedizinische Technik, 25, (1980), 223-227

- 90) Theologis T.N., Harrington M.E., Thompson N., Benson M.K.D.: „Dynamic foot movement in children treated for congenital talipes equinovarus”, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 85-B, (2003), S.572-577
- 91) Turco V.J.: *Clubfoot*, New York, (1981), Churchill Livingstone
- 92) *Vicon Clinical Manager - User Manual*, Oxford Metrics Limited
- 93) Widhe T., Berggren L.: „Gait Analysis and Dynamic Foot Pressure in the Assessment of Treated Clubfoot”, *Foot & Ankle International*, (1994), 186-190
- 94) Wiemann M.: „Kurzer Abriss zur Entwicklung der apparativen Ganganalyse zwischen Klassik und Moderne“, *Phys. Med. Rehab. Kuror*, 10, (2000), 227-230
- 95) Wynne-Davies R.: „Genetic and Environmental Factors in the Etiology of Talipes Equinovarus“, *Clinical Orthopaedics and Related Research* 84, (1972), 9-13
- 96) Zimny M.L., Willig S.J., Roberts J.M., Dambrosia R.D.: „An Electron Microscopic Study of the Fascia from the Medial and Lateral Sides of Clubfoot“, *Journal of Pediatric Orthopedics* 5, (1985), 577-81

Rückfuß

- Neutral bis 5° Valgus ___
- 5° Valgus ___
- Varus ___

Vorfuß

- Neutral bis 5° Adduktion ___
- > 5° Adduktion ___

Spitzfuß

- Dorsalflexion bis 90° ___
- < 90° ___

Hohlfuß / Fußgewölbe

- Unauffällig ___
- Abgeflacht ___
- Erhöht ___

Wann treten Schmerzen auf?

- Nie ___
- Bei großer Aktivität ___
- Bei normaler Aktivität ___
- Beim Gehen/ in Ruhe ___

Wie ist die Funktionsfähigkeit/ Belastbarkeit des Fußes?

- Keine Einschränkungen ___
- Einschränkung bei starker Belastung (Sport) ___
- Einschränkung bei Alltagsbelastungen ___
- Einschränkung der Gehfähigkeit ___

Wie ist die Belastungsdauer?

- Begrenzt ___
- Unbegrenzt ___

Wird eine sportliche Betätigung außerhalb der Schule ausgeübt? Ja / Nein

Wenn ja, welche? _____

Wird die Krankengymnastik weitergeführt?

Ja / Nein

Wenn ja, wie häufig? _____

Werden Einlagen getragen?

Ja / Nein

Wie ist die Zufriedenheit bzgl. des Behandlungsergebnisses?

Zufrieden _____

Teilweise zufrieden _____

Unzufrieden _____

Anhang 2: Postoperatives Bewertungssystem nach Magone

<u>Parameter</u>	<u>Punktzahl</u>
1. Rückfuß	
Neutral bis 5° Valgus	5
5° Valgus	3
Varus	0
2. Vorfuß	
Neutral bis 5° Adduktion	3
> 5° Adduktion	0
3. Equinus	
Dorsalflexion bis 90°	5
< 90°	0
4. Excavatus	
Nicht vorhanden	5
Vorhanden	0
5. Supination	
Nicht vorhanden	3
Vorhanden	0
6. OSG-Beweglichkeit mittels Röntgen	
> 40°	25
31 – 40°	20
21 – 30°	15
11 – 20°	8
< 11°	0

7. Flexion Großzehe

Vorhanden	5
Nicht Vorhanden	0

8. Bimalleolar-Achse

75 – 85°	10
70 – 74°, 86 – 90°	8
65 – 69°, > 90°	4
> 65°	2

9. Fersengang

Möglich	5
Nicht möglich	0

10. Zehengang

Möglich	5
Nicht möglich	0

11. Schmerzen

Nie	12
Bei großer Aktivität	8
Bei normaler Aktivität	6
Beim Gehen	3

12. Funktion

Nie eingeschränkt	12
Schränkt große Aktivitäten ein	8
Schränkt normale Aktivitäten ein	6
Schränkt Gehen ein	3

13. Zufriedenheit

Zufrieden	5
Teilweise zufrieden	3
Unzufrieden	0

Lebenslauf

Name: Kirstin Kaiser geb. Wanik

Geburtsdatum: 16. November 1978

Geburtsort: Bonn-Duisdorf

Familienstand: verheiratet, 2 Kinder

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung: August 1985- Juli 1989:
Kath. Grundschule St.Paulus, Langenfeld

August 1989- Juli 1998:
Konrad-Adenauer-Gymnasium, Langenfeld

Schulabschluß: Allgemeine Hochschulreife

Hochschulausbildung: Wintersemester 1998/1999 bis Oktober 2004
Studium der Humanmedizin an der Universität zu Köln

- Physikum im Sommer 2000
- 1.Staatsexamen im Sommer 2001
- 2.Staatsexamen im Sommer 2003
- 3.Staatsexamen im Oktober 2004

Famulaturen: Februar 2001: Orthopädie, Klinik am Ring, Köln
Februar 2002: Anästhesie, Kinderkrankenhaus Riehl, Köln
September 2002: Orthopädie, Uniklinik Köln
März 2003: Pädiatrie, Kinderklinik Davos, Schweiz

Praktisches Jahr: Oktober 2003: Pädiatrie, Klinikum Leverkusen
Februar 2004: Innere, Klinikum Leverkusen
Juni 2004: Chirurgie, Spital Davos, Schweiz

Klinische Tätigkeit: August 2005 – August 2008 Assistenzärztin Chirurgie,
Krankenhaus Wermelskirchen

seit Dezember 2008 Assistenzärztin Kinder- und
Jugendmedizin, Klinikum Leverkusen

Monheim, 14.07.2010

Kirstin Kaiser