

Klinik und Poliklinik für Orthopädie
Universitätsmedizin Rostock
Direktor: Prof. Dr. med. habil. Wolfram Mittelmeier
Akademischer Betreuer: Prof. Dr. med. habil. Christoph Schulze

**Einfluss stützender/korrigierender und
sensomotorischer Einlagen auf die Muskelaktivität
sowie auf klinische Parameter bei Kindern mit
flexiblem Knicksenkfuß**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der Universitätsmedizin Rostock

vorgelegt von
Kira-Henriette Liebau
geb. am 04.03.1994 in Rostock

Rostock 2024

Gutachter:

1. Prof. Dr. med. habil. Christoph Schulze
Klinik und Poliklinik für Orthopädie
Universitätsmedizin Rostock
2. Prof. Dr. med. habil. Stefanie Märzheuser
Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendchirurgie
Universitätsmedizin Rostock
3. PD Dr. med. Chakravarthy U Dussa
Muskuloskelettales Universitätsklinikum München
Klinikum Großhadern

Jahr der Einreichung: 2024

Jahr der Verteidigung: 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Stand der Forschung	7
2.1	Anatomie des Fußes	7
2.1.1	Knöcherner und ligamentärer Aufbau	7
2.1.2	Muskulatur	9
2.1.3	Das Fußgewölbe	10
2.2	Pes planovalgus.....	11
2.2.1	Definition	11
2.2.2	Epidemiologie.....	11
2.2.3	Ätiologie und Pathogenese.....	12
2.2.4	Pathoanatomie	13
2.2.5	Klassifikation	14
2.2.6	Klinische Untersuchung.....	15
2.2.7	Apparative Diagnostik.....	18
2.2.8	Ganganalyse	20
2.2.9	Konservative Therapie.....	21
2.2.10	Operative Therapie.....	24
3	Zielsetzung.....	26
4	Methodik	28
4.1	Patienten.....	28
4.2	Studiengruppen.....	28
4.3	Einlagen	29
4.4	Tragedauer.....	30
4.5	Übungsprogramm	31
4.6	Klinische Daten	31
4.6.1	Valgus Index	31
4.6.2	Valgus Score	32

4.6.3	Foot and ankle disability Index (FADI)	34
4.6.4	Schmerzintensität	34
4.7	Ganganalyse	35
4.7.1	Vorbereitung	35
4.7.2	Elektromyographie	35
4.7.3	Auflagefläche	36
4.7.4	Auswertung	37
4.8	Statistik	38
5	Ergebnisse	41
5.1	Valgus Index	41
5.1.1	Vergleich innerhalb der Gruppen	41
5.1.2	Vergleich zwischen den Gruppen	42
5.2	Valgus Score	42
5.2.1	Vergleich innerhalb der Gruppen	42
5.2.2	Vergleich zwischen den Gruppen	42
5.3	Foot and ankle disability Index (FADI)	44
5.3.1	Vergleich innerhalb der Gruppen	44
5.3.2	Vergleich zwischen den Gruppen	45
5.4	Schmerzintensität	45
5.4.1	Vergleich innerhalb der Gruppen	45
5.4.2	Vergleich zwischen den Gruppen	45
5.5	Tragedauer	46
5.5.1	Vergleich innerhalb der Gruppen	46
5.5.2	Vergleich zwischen den Gruppen	47
5.6	Hausübungsprogramm	48
5.7	Auflagefläche	49
5.7.1	statische Auflagefläche	49
5.7.2	dynamische Auflagefläche	49

5.7.3	Schuhgröße	52
5.8	Elektromyographie	52
5.8.1	M. tibialis anterior	52
5.8.2	M. Peroneus longus.....	57
6	Diskussion.....	63
6.1	Valgus Index und Valgus Score.....	63
6.2	Foot and ankle disability Index (FADI).....	64
6.3	Schmerzintensität.....	65
6.4	Auflagefläche und Schuhgröße	66
6.5	Studiengruppen.....	68
6.6	Tragedauer und Hausübungsprogramm	69
6.7	Elektromyographie	69
7	Zusammenfassung	78
8	Thesen.....	80
9	Literaturverzeichnis.....	81
10	Tabellenverzeichnis	86
11	Abbildungsverzeichnis	89
12	Anhang	92
13	Lebenslauf.....	94
14	Danksagung	96
15	Eidesstattliche Versicherung	97

Abkürzungsverzeichnis

a.p.	anterior-posterior
CT	Computertomographie
et al.	et alia
FADI	Foot and ankle disability index
M	Mittelwert
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
MVC	maximal voluntary contraction
n	Anzahl
p	empirisches Signifikanzniveau
SD	Standardabweichung
z	standardisierte Teststatistik
z.B.	zum Beispiel
α	Alpha

1 Einleitung

Der Knicksenkfuß ist eine der häufigsten Fußdeformitäten im Kindes- und Erwachsenenalter [1]. Er ist durch eine Abflachung der medialen Längswölbung, eine Vorfußabduktion sowie eine Rückfußversion gekennzeichnet [2]. Als Ursachen im Kindesalter werden eine erhöhte Bandlaxität, die unreife neuromuskuläre Kontrolle, die junge Knochenstruktur und vermehrtes Fettgewebe angegeben [3]. Der flexible Knicksenkfuß ist Teil der kindlichen Fußentwicklung [4]. Die Prävalenz beträgt bei Kindern im Alter von 3 Jahren ca. 54 % und sinkt bis zum 6. Lebensjahr auf 24 % [5].

Der asymptotische kindliche Knicksenkfuß zeigt häufig einen guten Spontanverlauf [6]. In seltenen Fällen kann es allerdings zu Schmerzen im Bereich der Füße sowie zu Einschränkungen im Gang kommen [6]. Zusätzlich sind Auswirkungen auf die Ausrichtung der Knöchel, Knie- und Hüftgelenke sowie auf die Standstabilität möglich [7]. Aufgrund der Schwierigkeit der Abgrenzung des pathologischen vom physiologischen Knicksenkfuß besteht weiterhin eine große Unsicherheit in der Wahl der korrekten Therapie [8].

Die Therapie des symptomatischen Knicksenkfußes stützt sich vorrangig auf eine krankengymnastische Beübung und die Verwendung von Einlagen [8]. Die Verordnung von Orthesen und orthopädischen Schuhzurichtungen ist eher komplexen Fällen vorbehalten [9]. Die Indikation zur operativen Therapie sollte nur bei therapieresistenten Fällen gestellt werden [10].

Trotz des weit verbreiteten Einsatzes von Einlagen liegt aktuell nur eine schwache Evidenz für deren Wirksamkeit vor [6, 8]. Vor allem Langzeituntersuchungen zur Auswirkung der Einlagentherapie bei kindlichem Knicksenkfuß wurden bisher kaum veröffentlicht.

2 Stand der Forschung

2.1 Anatomie des Fußes

2.1.1 Knöcherner und ligamentärer Aufbau

Der Fuß ist ein komplexes Gebilde zahlreicher Knochen, Bänder und Muskeln, welches sich an die statischen und kinematischen Anforderungen im Stand und im Gang angepasst hat [11]. Der Fuß kann in drei funktionelle Abschnitte: den Rückfuß, den Mittelfuß und den Vorfuß unterteilt werden (Abbildung 1).

Der Rückfuß setzt sich aus den 7 Fußwurzelknochen zusammen, die untereinander mehrere Gelenke bilden, welche für die Funktion des Fußes eine große Bedeutung haben [12].

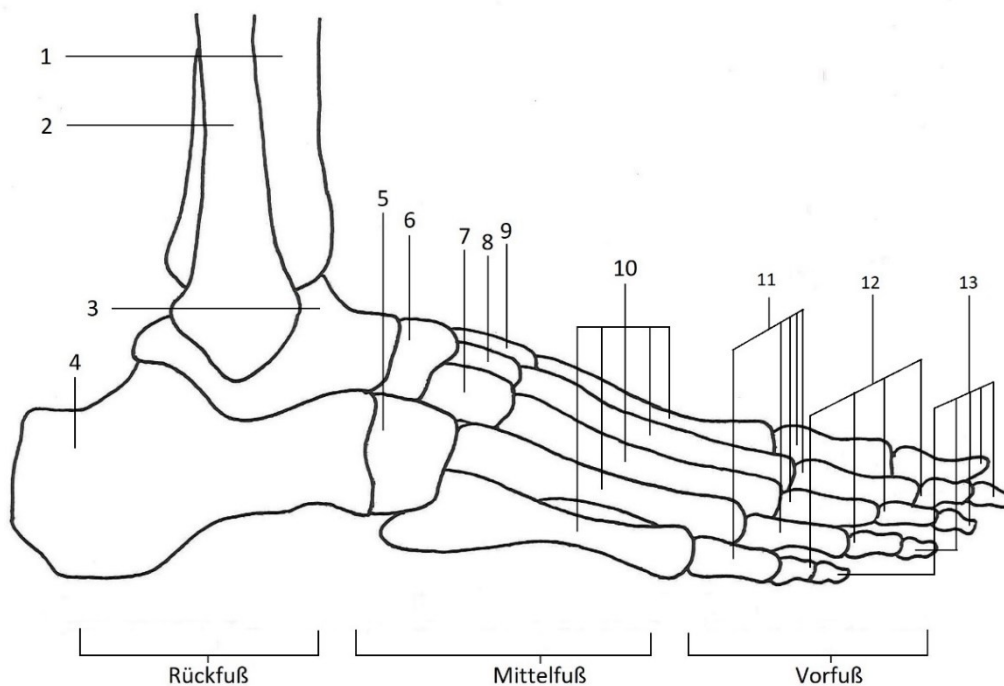


Abbildung 1: Darstellung des Fußskeletts, 1: Tibia, 2: Fibula, 3: Talus, 4: Calcaneus, 5: Os cuboideum, 6: Os naviculare, 7: Os cuneiforme laterale, 8: Os cuneiforme intermedium, 9: Os cuneiforme mediale, 10: Ossa metatarsalia, 11: Ossa phalanges proximales, 12: Ossa phalanges mediales, 13: Ossa phalanges distales [eigene Darstellung].

2.1.1.1 Das untere Sprunggelenk

Das untere Sprunggelenk bildet sich aus Gelenkflächen des Talus, des Calcaneus sowie des Os naviculare. [12]. In der vorderen und hinteren Kammer des unteren Sprunggelenkes liegen sich jeweils die hinteren, mittleren und vorderen Gelenkflächen des Talus und des Calcaneus gegenüber [12]. Die vorderen Gelenkflächen artikulieren zusätzlich mit der konkaven Gelenkfläche des Os naviculare und bilden somit die *Articulatio talocalcaneonavicularis* [12]. Die Kammern werden durch das *Ligamentum talocalcaneum interosseum*, auch Pfannenband genannt, voneinander getrennt [13]. Calcaneus und Talus sind weiterhin durch das *Ligamentum talocalcaneum laterale* sowie das *Ligamentum talocalcaneum posterius* verbunden.

Die Gelenkflächen des Talus und des Calcaneus sind in der Neutralnullstellung des Fußes kongruent und stabil, wird eine Inversion oder Eversion durchgeführt, verschieben sich die Gelenkflächen, sodass diese eine Inkongruenz aufweisen. Dabei kommt es zu einer Spannung der Ligamente [12].

2.1.1.2 Das Chopartgelenk

Die *Articulatio tarsi transversa*, welche auch Chopartgelenk genannt wird, setzt sich aus der medial liegenden *Articulatio talocalcaneonavicularis* und der sich lateral befindenden *Articulatio calcaneocuboidea* zusammen [12]. Die artikulierende Gelenkfläche des Os naviculare ist konkav, die des Talus konvex [12]. Im Gegensatz dazu ist die Gelenkfläche des lateral liegenden Os cuboideum leicht konvex, sodass im Transversalschnitt ein s-förmiger Gelenkspalt entsteht [12].

Talus und Os naviculare werden durch das *Ligamentum talonaviculare dorsale* sowie das *Ligamentum bifurcatum* stabilisiert [11, 12]. Das *Ligamentum calcaneocuboideum dorsale* verbindet den Calcaneus und das Os cuboideum dorsolateral miteinander [12]. Das *Ligamentum calcaneonaviculare plantare* verläuft zwischen Calcaneus und Os naviculare plantar und ist an der Bildung der Gelenkpfanne des *Talocalcaneonaviculargelenkes* beteiligt [12]. Das *Ligamentum calcaneocuboideum plantare* zieht vom Calcaneus zum Os

cuboideum. Gemeinsam mit weiteren oberflächlichen Fasern, welche über das Os cuboideum zu den Basen der Metatarsi II-V ziehen, bildet es das Ligamentum plantare longum [11].

2.1.2 Muskulatur

Der menschliche Unterschenkel und Fuß verfügen über ein komplexes System aus einer Vielzahl an kurzer und langer Muskulatur. Hier beschrieben sind die Muskeln, die in dieser Arbeit zur Messung herangezogen wurden

2.1.2.1 Musculus tibialis anterior

Der Musculus tibialis anterior entspringt an den oberen zwei Dritteln der Facies lateralis tibiae sowie der Membrana interossea cruris, zieht durch die oberflächliche Extensorenloge und setzt schließlich medial und plantar am Os cuneiforme sowie an der medialen Basis des Os metatarsale I an [13]. Er ist der stärkste Dorsalextensor des oberen Sprunggelenkes und zusätzlich für die Inversion im unteren Sprunggelenk zuständig [13, 14].

Der M. tibialis anterior wird in der initialen Schwungphase aktiviert, in der terminalen Schwungphase nimmt die Aktivität allmählich zu. Beim initialen Bodenkontakt steigt die Intensität auf sein Maximum an, hier dient der M. tibialis anterior als Stabilisator [14].

2.1.2.2 Musculus peroneus longus

Der Musculus peroneus longus hat seinen Ursprung am Caput fibulae sowie an den proximalen zwei Dritteln der Facies lateralis fibulae [13]. Er zieht unter der Trochlea peronealis hindurch und läuft vom lateralen Fußrand durch die Schenkel des Ligamentum plantare longum bis zu seinem Ansatz plantar am Os cuneiforme mediale sowie der Basis des Os metatarsale I [12, 13]. Neben der Aufspannung des Längs- und des Quergewölbes dient er als Pronator und Plantarflektor. Durch das Anheben des Calcaneus dient er zusätzlich als Stabilisator des unteren Sprunggelenkes [12, 14].

Die Aktivität des Musculus peroneus longus beginnt in der mittleren Standphase und steigert sich bis zur terminalen Standphase. In der Schwungphase entspannt der M. peroneus longus [14].

2.1.2.3 Musculus tibialis posterior

Der Musculus tibialis posterior entspringt dorsal an der Membrana interossea sowie den angrenzenden Flächen der Tibia und Fibula. Die Ansatzsehne teilt sich auf eine breite Fläche auf und zieht zur Tuberositas ossis navicularis, plantar zu den Ossa cuneiformia sowie zu den Basen der Ossa metatarsalia II-IV [13]. Der M. tibialis posterior ist sowohl an der Plantarflexion im oberen Sprunggelenk als auch an der Inversion des Fußes beteiligt [12]. Weiterhin bewirkt er sowohl die Aufrechterhaltung des medialen Längsgewölbes als auch des Quergewölbes [12].

Der M. tibialis posterior kontrahiert sowohl zu Beginn des initialen Bodenkontaktes bis zur Belastungsantwort sowie in der terminalen Standphase, wo er sein Kontraktionsmaximum erreicht [14].

2.1.3 Das Fußgewölbe

Der menschliche Fuß ist durch seine Anatomie in der Lage sich Unebenheiten des Erdbodens anzupassen [12]. Die drei tibialen und zwei fibularen Strahlen sind proximal übereinander und distal nebeneinander angeordnet, sodass sie ein Gewölbe bilden [13]. Die Auflagepunkte der Wölbungen sind die Processi medialis und lateralis tuberis calcanei sowie die Köpfchen der Ossa metatarsalia I und V [12].

2.1.3.1 Das Längsgewölbe

Das Längsgewölbe des Fußes kann in einen medialen und einen lateralen Bogen unterteilt werden. Der mediale Bogen bildet sich aus dem Calcaneus, dem Talus, dem Os naviculare, dem Os cuneiforme mediale sowie dem Os metatarsale I [12]. Der laterale Bogen besteht aus dem Calcaneus, dem Os cuboideum und dem Os metatarsale V [12]. Für die Aufspannung des Längsgewölbes spielen insbesondere die Plantaraponeurose aber auch die Ligamenta calcaneonavicularia plantare, talocalcaneum interosseum sowie das Ligamentum plantare longum eine wichtige Rolle [11].

Muskulär wird das Längsgewölbe durch mehrere Zugverspannungen gestützt, die durch den Verlauf der Unterschenkelmuskulatur entstehen [12]. Für die Verspannung des medialen Längsgewölbes sind vorrangig der M. tibialis

posterior, M. flexor hallucis longus und M. abductor hallucis zuständig. Der laterale Bogen wird vorrangig durch den M. peroneus brevis und den M. abductor digiti minimi verstärkt. Der M. peroneus longus spielt sowohl für die Aufrichtung des medialen als auch lateralen Längsgewölbes eine führende Rolle [12].

2.1.3.2 Das Quergewölbe

Das Quergewölbe bildet sich aus den fünf Ossa metatarsalia und setzt sich nach distal und proximal fort. Der zweite Strahl liegt hierbei am Scheitelpunkt der Wölbung [12]. Durch die interossären Ligamente insbesondere das Ligamentum metatarsale profundum sowie der Ligamenta plantaria wird das Quergewölbe passiv gestützt [11, 13]. Für die aktive Aufrichtung des Quergewölbes sind der M. tibialis posterior, der M. peroneus longus sowie das Caput transversum des M. adductor hallucis verantwortlich [12].

2.2 Pes planovalgus

2.2.1 Definition

Der Knicksenkfuß kennzeichnet sich durch eine Abflachung oder auch Umkehrung des medialen Längsgewölbes, einen Rückfußvalgus, eine Abduktion des Vorfußes sowie eine Innenrotation der Malleolengabel [1, 2, 15].

2.2.2 Epidemiologie

Der flexible Knicksenkfuß gilt bis zu einem Alter von 6 Jahren als physiologisch [10]. In einer Kohorte von 18 Monate alten Kindern wurde eine Prävalenz des Knicksenkfußes von 97 % dokumentiert [16]. Pfeiffer et al. konnten in einer Gruppe von dreijährigen Probanden eine Prävalenz von 54 % nachweisen, wohingegen sie bei einer Gruppe 6-Jähriger nur noch bei 24 % lag [5]. Im Alter von 10 Jahren waren nur noch 4 % der Kinder betroffen [17]. Jungen sind dabei häufiger betroffen als Mädchen [5].

2.2.3 Ätiologie und Pathogenese

Am häufigsten tritt der Knicksenkfuß physiologisch als Teil der kindlichen Entwicklung auf [15]. Dies ist auf das vermehrte Fettgewebe des Spitzzy-Fettkörpers, die unreife neuromuskuläre Kontrolle, die jungen Knochenstrukturen und Laxität der Ligamente zurückzuführen [3].

Mehrere Faktoren werden als ursächlich diskutiert. Der kindliche Knicksenkfuß kann angeboren auftreten [1]. Als Ursache kommen hierbei sowohl endogene Faktoren wie zum Beispiel Wachstumsstörungen während der Embryonalzeit, neuromuskuläre und genetische Faktoren, aber auch exogene Faktoren wie die intrauterine Druckeinwirkung in Frage [1].

Weiterhin treten erworbene Formen des Knicksenkfußes auf. Auch hier spielen idiopathische Komponenten sowie eine familiäre Disposition eine wichtige Rolle [1]. Kinder mit einer positiven Familienanamnese haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, ebenfalls an einem Knicksenkfuß zu leiden [17].

Der bedeutendste Faktor ist die ligamentäre und kapsuläre Hyperlaxität, durch die es zu einer vermehrten Neigung des Talus nach medial und kaudal über den Calcaneus kommt [18]. Eine allgemeine muskuläre Hypotonie sowie eine Achillessehnenverkürzung tragen ebenfalls zur Verstärkung der Pathologie bei [1, 18]. Diese können ebenfalls im Rahmen einer neuromuskulären Grunderkrankung auftreten [10]. Auch knöcherne Deformitäten können ursächlich für eine Fußfehlstellung sein, diese sind in den meisten Fällen mit dem rigiden Knicksenkfuß vergesellschaftet [10].

Darüber hinaus wird das Tragen von Schuhwerk mit rigider Sohle als Risikofaktor für die Entstehung eines Knicksenkfußes diskutiert [1]. Rao et al. konnten in einer Studie mit 2300 Kindern ein vermehrtes Auftreten des Knicksenkfußes bei Kindern, die festes Schuhwerk trugen, nachweisen [19]. Birhanu et al. konnten ebenfalls eine Korrelation zwischen dem Auftreten eines Knicksenkfußes und dem Tragen von Schuhwerk, allerdings ohne Signifikanz, feststellen. In dieser Studie hatten Kinder, die geschlossenes Schuhwerk trugen, signifikant häufiger Knicksenkfüße als Kinder mit Sandalen [20].

2.2.4 Pathoanatomie

Die Pathologie des Knicksenkfußes setzt sich aus einer Abflachung des medialen Längsgewölbes, einem Rückfußvalgus und einer Abduktion und Supination des Vorfußes zusammen [15] und ist somit eine Veränderung des Fußes in allen 3 Ebenen im Raum, die mehrere Gelenke betrifft [1].

Unbelastet wird das Fußgewölbe durch die Verspannung der Ligamente aufrechterhalten [12]. Kommt es nun zu einer Belastung des Gewölbes durch das Körpergewicht im Stand, reicht die Spannung der Ligamente nur für kurze Zeit aus, sodass eine muskuläre Stütze des Gewölbes notwendig ist [12]. Besteht eine muskuläre Insuffizienz, meist des M. peroneus longus oder des M. tibialis posterior, kommt es zu einer Überdehnung der Ligamente und einem Zusammenbruch des Fußgewölbes [12].

Durch die unzureichende muskuläre Stütze flacht sich das Quergewölbe und damit auch das mediale Längsgewölbe ab [12]. Hierbei kommt es zu einer medialen Instabilität sowohl des Cuneiforme-metatarsale-I-Gelenkes, des Naviculo-cuneiforme-Gelenkes als auch des Chopartgelenkes [1], wodurch eine Abduktion des Vorfußes und eine Vergrößerung der Auflagefläche entstehen [12]. Der Talushals verlagert sich zunehmend nach medial und kaudal, sodass das Os naviculare nach dorsal und lateral subluxiert [1]. Das Calcaneocuboidalgelenk weist ebenfalls eine Lateralisierung auf, sodass es zu einer Subluxation des gesamten Chopartgelenkes kommt [12]. Durch die Verlagerung des Talus nach distal, medial und kaudal kommt es zu einer konsekutiven Abweichung des Calcaneus nach dorsal, lateral und proximal [1]. Hierdurch entsteht eine Pronation des Calcaneus, wodurch eine Valgusstellung des Rückfußes resultiert [12]. Diese ist häufig mit einer Verkürzung der Achillessehne vergesellschaftet, welche sowohl Ursache, als auch Folge der Fehlstellung sein kann [1]. Durch das Abrutschen des Talus nach medial und kaudal kommt es zusätzlich zu einer Spitzfußstellung im oberen Sprunggelenk und einer Abflachung der Talusrolle sowie einer vermehrten Innenrotation der Malleolengabel [1].

2.2.5 Klassifikation

Der Knicksenkfuß kann in eine flexible und eine rigide Form eingeteilt werden [10]. Der flexible Knicksenkfuß ist sowohl aktiv als auch passiv komplett korrigierbar [2]. Dieser kann symptomatisch, aber auch asymptomatisch auftreten [2]. Bei Vorliegen eines pathologischen flexiblen Knicksenkfußes sollte eine begleitende Grunderkrankung ausgeschlossen werden [10]. Der flexible Knicksenkfuß kann weiter unterteilt werden in eine physiologische, neurogene oder syndromale Form [10].

Weiterhin ist eine Unterscheidung zwischen kompensiertem und dekompenziertem Knicksenkfuß möglich. Beim kompensierten Knicksenkfuß kommt es im Zehenstand zu einer vollständigen Aufrichtung der Wölbung sowie einer Rückfußvarisierung. Diese fehlt beim dekompenzierten Knicksenkfuß, die passive Korrigierbarkeit bleibt aber vorhanden [10].

Der rigide Knicksenkfuß ist passiv nicht komplett korrigierbar und häufig mit einer knöchernen Deformität vergesellschaftet [10]. Ursachen hierfür können zum Beispiel eine Coalitio der Mittelfußknochen oder ein Talus verticalis sein [2]. Hier besteht die Notwendigkeit einer therapeutischen Intervention [10]. Weitere Ursachen für einen rigiden Knicksenkfuß können syndromale Erkrankungen oder sekundäre Pathologien wie z.B. Nekrosen oder Infektionen darstellen [10]. Selten kann sich ein rigider Knicksenkfuß aus einem pathologisch flexiblem Knicksenkfuß entwickeln [10].

Der Knicksenkfuß kann außerdem nach der vorherrschenden anatomischen Abweichung des Fußes beschrieben werden. Besteht eine Abweichung vorwiegend in der Frontalebene, spricht man von einem Pes valgus, in der Sagittalebene vom Pes planus und in der Transversalebene vom Pes abductus [1]. Kombinationen aus Abweichungen in allen drei Ebenen sind ebenfalls möglich. Die Klassifikation kann ebenfalls nach der Ausprägung der Fehlhaltung in Schweregrade 1-5 erfolgen [15]. Dabei werden die aktive und passive Korrigierbarkeit, die Beteiligung der Achillessehne sowie die Ausprägung der Fehlstellung dokumentiert. Die jeweiligen Eigenschaften der Schweregrade sind in Tabelle 1 dargestellt [15].

Grad	Aktive Aufrichtung	Passive Korrigierbarkeit	Achillessehnenverkürzung	passiv verbleibende Fehlstellung
1	ja	ja	nein	keine
2	ja	ja	ja	keine
3	nein	unvollständig	ja	Rückfußvalgus
4	nein	unvollständig	ja	Rückfußvalgus Vorfußabduktion
5	nein	nein	ja	Rückfußvalgus Vorfußabduktion Vorfußsupination

Tabelle 1: Stadieneinteilung des kindlichen Knicksenkfußes [15].

2.2.6 Klinische Untersuchung

2.2.6.1 Anamnese

Zu Beginn einer klinischen Untersuchung sollte stets eine Anamnese durchgeführt werden [2]. Hierbei sollte in erster Linie nach Beschwerden des betroffenen Fußes insbesondere der medialen Kante gefragt werden [2]. Weitere zu erfragende Parameter wären beispielsweise Druckstellen im Bereich des Fußes, vorzeitige Ermüdung, Schuhverschleiß und Instabilitätsgefühl der Fußgelenke [1].

2.2.6.2 Inspektion

Die Inspektion der Fußstellung sollte sowohl im Sitzen am unbelasteten als auch im Stehen am belasteten Fuß erfolgen [1, 2]. Untersucht man die Fußstellung im Sitzen am hängenden Fuß, kann eine bereits unbelastet bestehende Deformität von einer im unbelasteten Zustand physiologischen Fußhaltung unterschieden werden [1].

Im Stand sollte der Rückfußvalgus mit Bestimmung des Winkels zwischen Unterschenkelachse und Calcaneusachse beachtet werden, dieser sollte 10° nicht überschreiten [2]. Weiterhin kann das mediale Längsgewölbe im Stand beurteilt werden. Bis zum 6. Lebensjahr ist das Vorhandensein des Spitz-

Fettkörpers physiologisch, dieser kann eine Abflachung des Längsgewölbes vortäuschen [2, 8]. Daher ist eine Beurteilung des Längsgewölbes erst nach Erreichen des 6. Lebensjahres sicher möglich. Die Abflachung kann in 3 Grade unterteilt werden. Hierbei entspricht Grad 1 einer Abflachung mit noch erhaltenem Längsgewölbe, Grad 2 einer kompletten Abflachung ohne erkennbares Gewölbe und Grad 3 einer konvexen Verbeiterung des medialen Fußrandes [8]. Bei der Inspektion von dorsal kann zusätzlich das „Too many Toes Sign“ beobachtet werden. Bei physiologischer Fußstellung sollten lediglich die 4. und 5. Zehe von dorsal sichtbar sein. Aufgrund der Abflachung des Längsgewölbes und der Vorfußabduktion sind beim Knicksenkfuß in der Sicht von dorsal mehr Zehen sichtbar [1] (Abbildung 2).



Abbildung 2: 8-jähriger Junge mit Knicksenkfuß bds, Rückfußvalgus, prominentem Innenknöchel, Abflachung des medialen Längsgewölbes und positivem too many toes-Sign rechts [Eigenes Bild].

2.2.6.3 passive Korrigierbarkeit

Besteht eine Fehlstellung bereits am unbelasteten Fuß, sollte die passive Korrigierbarkeit überprüft werden. Hierbei werden eine Inversion des Rückfußes sowie eine Pronation des Vorfußes bis zum Erreichen der Neutralstellung durchgeführt [1]. Ist eine Korrektur in die Neutralstellung nicht möglich, bietet dies einen Hinweis auf eine rigide oder teilrigide Fehlstellung [1]. Zusätzlich werden die Korrektur der Vorfußabduktion und die Reponierbarkeit des Talonaviculargelenkes überprüft [1].

2.2.6.4 Silverskjöld-Test

Neben der Fehlstellung der Fußgelenke sollte ebenfalls die Wadenmuskulatur untersucht werden [1]. Dazu muss zunächst eine Korrektur der Rückfußstellung mit Fixierung des Subtalargelenkes erfolgen [2]. Nun wird die mögliche Dorsalextension im Sprunggelenk festgestellt. Eine Untersuchung mit gestrecktem und gebeugtem Kniegelenk ermöglicht die Differenzierung der betroffenen Muskelköpfe des M. triceps surae [8].

2.2.6.5 Untersuchung im Zehenstand

Die zu untersuchende Person wird aufgefordert, sich auf die Zehenspitzen zu stellen. Hierbei sollte es zu einer Aufrichtung des Längsgewölbes und zu einer Varisierung der Ferse kommen (Abbildung 3). Mit diesem Test kann die Flexibilität des Knicksenkfußes getestet werden [2, 8].

2.2.6.6 Jack-Test

Der Jack-Test, auch Großzehenhebertest genannt, wird im Stand durchgeführt. Der Untersucher führt eine passive Dorsalextension der Großzehe durch [8]. Bei einer vollständigen Korrektur kommt es zu einer Aufrichtung des Längsgewölbes und einer Außenrotation der Tibia, der Test gilt dann als normal [21]. Bei fehlender Außenrotation der Tibia mit erhaltener Aufrichtung des Längsgewölbes spricht man von einer Teilkorrektur, fehlen beide Ereignisse, wird der Test als pathologisch beschrieben [21].



Abbildung 3: 8-jähriger Junge, Aufrichtung des medialen Längsgewölbes und Varisierung der Ferse im Zehenstand [Eigenes Bild].

2.2.6.7 Untersuchung der Beinachse

Auch die Untersuchung und Dokumentation der Beinachsen sollte durchgeführt werden, da diese ebenfalls einen Einfluss auf die Ausprägung des Knicksenkfuß haben können [8]. Insbesondere bei valgischer Beinachse kommt es zu einer vermehrten Belastung der medialen Längswölbung sowie der gewölbeunterstützenden Muskulatur. Daraus resultieren eine Abflachung der medialen Längswölbung sowie eine Pronation des Fußes [22].

2.2.7 Apparative Diagnostik

2.2.7.1 Röntgen

Zur Darstellung des Knicksenkfußes sollte eine Röntgenaufnahme a.p. und seitlich im Stehen unter Belastung durchgeführt werden [1]. Bei der Beurteilung sollte beachtet werden, dass die Knochenkerne beim

Heranwachsenden nicht vollständig ausgebildet sind und exzentrisch liegen können [1, 2].

In der a.p.-Aufnahme kann der talocalcaneare Winkel bestimmt werden, welcher aufgrund der Medialisierung des Talus beim Knicksenkfuß erhöht ist [1]. Weiterhin können der Talus-metatarsale-I-Winkel, der Calcaneus-Metatarsale-IV-Winkel und der Calcaneus-Cuboid-Winkel, auch Cyma-Winkel genannt, ausgemessen werden [1].

In der seitlichen Röntgenaufnahme bildet sich der Calcaneus häufig nahezu horizontal und nicht physiologisch aufsteigend ab [18]. Dies kann durch den Calcaneus-Boden-Winkel objektiviert werden [1]. Auch in dieser Aufnahme kann der talocalcaneare Winkel aufgrund der Kaudalisierung des Talus erhöht sein [18]. Der sogenannte Meary-Winkel, der Talus-metatarsale-I-Winkel, zeigt sich ebenfalls erhöht und spielt eine wichtige Rolle in der Diagnosestellung des Knicksenkfußes [2]. Durch das Absinken des medialen Längsgewölbes kann eine vermehrte Überlappung des Os naviculare über das Os cuboideum beobachtet werden. Dies wird durch den Naviculo-Cuboideum-Überlappungsindex quantifiziert [23].

Zusätzlich können der Talus-Boden-Winkel und der Tibia-Calcaneus-Winkel bestimmt werden [1].

Liegt ein kontrakter Knicksenkfuß ohne weitere Begleiterkrankungen vor, sollte zusätzlich eine distal-posteriore (nach Saltzmann) und schräge Röntgenaufnahme (nach Harris) des Rückfußes zum Ausschluss einer Coalitio durchgeführt werden [1, 2].

2.2.7.2 Fußabdruck

Um die Belastungsverteilung des Fußes im Stand zu beurteilen, kann der Fußabdruck entweder durch ein Podoskop oder einen Abdruck durch z.B. Kohlepapier oder Blauabdruck abgebildet werden [18]. An diesem kann dann der Valgus-Index oder der Chippaux-Smirak-Index ermittelt werden, um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen [8, 21].

2.2.7.3 Pedobarographie

Die Pedobarographie kann durch mit Drucksensoren versehene Sohlen im Schuh oder mit Druckmessplatten auf einer Gangstrecke durchgeführt werden

[8]. Sie kann sowohl statisch als auch dynamisch erfolgen [1]. Hierbei kann sowohl die statische als auch die dynamische Druckverteilung des Fußes erfasst und verglichen werden [1]. Bei Vorhandensein eines Knicksenkfußes tritt hier typischerweise die Medialisierung der center of pressure line auf [2]. Zusätzlich können noch weitere Parameter wie beispielsweise die Kontaktfläche, die Kontaktzeit und die Ganglinie erfasst werden [1].

2.2.7.4 Magnetresonanztomographie (MRT)

Eine MRT kann zusätzlich zur Darstellung von knöchernen und weichteiligen Coalitiones oder Weichteilveränderungen wie z.B. Tumoren erwogen werden [1]. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung ist die MRT bei Kindern zu bevorzugen [10].

2.2.7.5 Computertomographie (CT)

Eine CT kann zur Darstellung von knöchernen Coalitiones oder zur Darstellung der Torsionsverhältnisse für die präoperative Planung durchgeführt werden [1].

2.2.7.6 Sonographie

Die Sonographie kann zur Darstellung von Fehlbildungen wie z.B. dem Talus verticalis beim Säugling durchgeführt werden [1]. Weiterhin ist eine Darstellung von Gelenkergüssen, die auf eine Infektion hinweisen können, sowie muskulären Veränderungen z.B. im Rahmen einer neuromuskulären Erkrankung möglich [10].

2.2.8 Ganganalyse

2.2.8.1 Gangzyklus

Der Gangzyklus beschreibt eine Einzelsequenz der sich wiederholenden Bewegungsabläufe während des Gehens. Der Beginn des Gangzyklus wird durch den initialen Bodenkontakt definiert [14, 24]. Der Gangzyklus wird in die Stand- und die Schwungphase unterteilt [24]. Die mittlere Standphase beschreibt hierbei den Zeitraum zwischen Abheben des kontralateralen

Beines und dem Abheben der Ferse und ist somit die Phase mit der maximalen Auflagefläche des Fußes [14, 24].

2.2.8.2 dynamische Elektromyographie

Das Elektromyogramm zeichnet das sich über die Muskelfasergruppe ausbreitende elektrische Signal nach Innervation durch das Motoneuron auf [14]. Das Ausmaß der Muskelkontraktion ist abhängig von der Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten, aber auch von der Anzahl und Größe der Muskelfasern jeder einzelnen motorischen Einheit [14]. Die muskuläre Funktion kann durch das Elektromyogramm nur indirekt über die Darstellung des zeitlichen Ablaufes sowie die relative Intensität der Muskelkontraktion bewertet werden [14].

Die Ableitung des Elektromyogramms ist sowohl über Nadelelektroden, Drahtelektroden als auch Oberflächen Elektroden möglich. Durch die Oberflächen Elektroden ist eine nicht-invasive Aufzeichnung möglich. Hierbei ist eine Erdung über eine entfernte Ableite-Elektrode notwendig [14].

2.2.9 Konservative Therapie

2.2.9.1 Indikation

Sowohl Zollinger et al. als auch Jani et al. konnten in ihren Studien einen Hinweis auf einen guten Spontanverlauf des kindlichen Knicksenkfußes ohne Therapie feststellen [25, 26]. Eine Indikation zur konservativen Therapie sollte daher nur gestellt werden, wenn der Patient Schmerzen angibt, eine Funktionseinschränkung (fehlende Aufrichtung im Zehenstand) oder eine strukturelle Veränderung wie beispielsweise eine Muskelverkürzung vorliegt [8, 10]. Bei Progredienz der Fehlstellung kann ebenfalls eine Therapieindikation gestellt werden [8].

Bei Kindern unter 6 Jahren sollte möglichst keine Therapie durchgeführt werden, wenn keine strukturellen oder neuromuskulären Erkrankungen vorliegen [10]. Der schmerzlose, physiologische, flexible Knicksenkfuß ohne Kontrakturen bedarf keiner Therapie [2, 8].

2.2.9.2 Physiotherapie

Eine Krankengymnastik kann zur Anleitung von Muskulatur-kräftigenden Übungen verordnet werden, diese sollten möglichst spielerisch durchgeführt werden [2, 8]. Hierbei sollte vor allem die gewölbebildende Muskulatur trainiert werden, außerdem sollten Übungen zur Betonung der Dorsalextension und Supination des Fußes enthalten sein [27]. Der Abrollvorgang über die drei Auflagepunkte des Fußgewölbes (Ferse, Großzehengrundgelenk und Kleinzeheballen) wird ebenfalls trainiert [27]. Hierzu können Hilfsmittel, zum Beispiel Turngeräte wie Seil und Ball, aber auch Alltagsmaterialien wie Stifte, Taschentücher oder Murmeln herangezogen werden. Zum Training der Fußmuskulatur eignen sich ebenfalls Übungen im Zehenspitzen- und Fersengang [18]. Die angeleiteten Übungen sollten vom Patienten idealerweise selbstständig mehrmals täglich durchgeführt werden [10, 18]. Bei vorliegenden Verkürzungen der Unterschenkelmuskulatur, insbesondere des M. triceps surae, ist die zusätzliche Dehnung der Muskulatur sinnvoll [8, 18, 28]. Diese sollte mit gleichzeitiger Varisierung der Ferse durchgeführt werden [18]. Eine ausreichende wissenschaftliche Evidenz zur Wirksamkeit der physiotherapeutischen Beübung liegt nicht vor [23].

2.2.9.3 Stützende/korrigierende Einlagen

Besteht die Indikation zur konservativen Therapie, können stützende/korrigierende Einlagen zur Schmerzreduktion und zur passiven Korrektur der Fußstellung verordnet werden [8]. Diese sollten durch einen Supinationskeil das mediale Längsgewölbe aufrichten und die Ferse varisieren [8, 18]. Eine laterale Fassung dient als Gegenhalt und Stütze für den lateralen Fußrand [8]. Die Anfertigung der Einlage sollte anhand eines dreidimensionalen Fußabdruckes erfolgen [9, 10].

Mehrere Studien konnten in der Entwicklung des medialen Längsgewölbes bei Kindern mit flexiblem Knicksenkfuß, welche Einlagen getragen hatten, keinen Vorteil im Vergleich zu Kindern ohne Einlagenversorgung nachweisen [26, 29]. Im Gegensatz dazu konnten Murley et al. einen Einfluss von stützenden Einlagen auf die Aktivierung der Unterschenkelmuskulatur belegen [30]. Jafarnezhadgero et al. konnten in einer Studie eine positive Veränderung der

Koordination der unteren Extremität durch das Tragen von Einlagen nach 4 Monaten aufzeigen [31].

2.2.9.4 sensomotorische Einlagen

Als Alternative zur stützenden/korrigierenden Einlage kann ebenfalls eine sensomotorische oder propriozeptive Einlage verordnet werden [10]. Durch individuell angebrachte Pelotten wird ein Stimulus auf die Unterschenkel- und Fußmuskulatur und somit auf die Muskelspindelafferenzen gesetzt. Über den Alphanotoneuronreflex kommt es somit zu einer Steigerung der Muskelaktivität [9, 32].

Ludwig et al. konnten in einer Studie mit gesunden Erwachsenen eine Erhöhung der Muskelaktivität des M. peroneus longus in Form eines zusätzlichen Peaks in der Belastungsantwort durch sensomotorische Einlagen nachweisen [33].

Voraussetzung für die Verordnung von sensomotorischen Einlagen sollte die Reaktionsfähigkeit des Muskel-, Nerven- und Skelettsystems des Patienten sein [10].

2.2.9.5 Orthesen

Zur externen Stabilisierung des Sprunggelenkes sowie des Fußgewölbes ist bei ausgeprägten Instabilitäten eine Versorgung mit Orthesen möglich [8]. Liegt keine Instabilität des oberen Sprunggelenkes und keine Verkürzung der Wadenmuskulatur vor, kann eine Orthese ohne Einschluss des oberen Sprunggelenkes, wie z.B. die Talusringorthese nach Baise-Pohling, verordnet werden [1, 8]. Diese bietet eine Stabilisierung des unteren Sprunggelenkes [9]. Weitere Versorgungsmöglichkeiten sind sprunggelenksübergreifende Orthesen wie die dynamische Fußorthese nach Nancy Hylton, welche mit einem detonisierenden Fußbett gestaltet wird, oder Unterschenkelorthesen mit einstellbarem Bewegungsausmaß [1, 8, 9].

2.2.9.6 Schuhzurichtungen

Ist eine Versorgung mittels Einlagen oder Orthesen nicht ausreichend, können verschiedene Schuhzurichtungen verordnet und angefertigt werden [8, 9]. Dies können Zurichtungen am Konfektionsschuh, Therapieschuhe, ein

orthopädischer Innenschuh oder der orthopädische Maßschuh sein [9]. Die Versorgung durch solche Sonderanfertigungen ist nur in seltenen Einzelfällen wie z.B. bei sekundärem Knicksenkfuß aufgrund einer neurodegenerativen Grunderkrankung oder nicht gegebener Operationsfähigkeit notwendig [8].

2.2.10 Operative Therapie

2.2.10.1 Indikation

Die Indikation zur operativen Therapie sollte nur bei dekompenziertem flexilem Knicksenkfuß gestellt werden, wenn durch die konservative Therapie keine Besserung erzielt werden kann [2, 15]. Beachtet werden müssen der Grad der Fehlstellung, die Funktionseinschränkungen sowie die Progredienz [23]. Die operative Versorgung sollte nicht vor dem 11. Lebensjahr durchgeführt werden, um das spontane Korrekturpotenzial abzuwarten [2, 10, 18]. Idealerweise wird eine Operation vor Verschluss der Wachstumsfugen durchgeführt, um eine Anpassung der Weichteile an das neue Fußgewölbe zu ermöglichen [2]. Auch beim Vorliegen eines rigiden Knicksenkfußes kann eine operative Therapie notwendig sein [10].

Je nach vorliegender Pathologie ist die operative Therapie festzulegen. Hierbei kommt eine Vielzahl an sowohl weichteiligen als auch knöchernen Operationstechniken in Frage, welche teilweise kombiniert angewendet werden müssen [1].

2.2.10.2 Weichteiloperationen

Die Indikation zur Durchführung einer Weichteiloperation sollte bei bestehenden strukturellen Veränderungen wie z.B. einer Muskelverkürzung oder pathologisch aktiver Muskulatur gestellt werden [1]. Hierbei sind Eingriffe zur Lösung von Kontrakturen der Gelenkkapseln, Ligamente und Muskelsehnenverlängerungen, aber auch Raffungen von Gelenkkapseln, Bändern und Sehnen sowie auch Sehnentransfers möglich [1, 10]. Beispiele hierfür sind die Achillessehnenverlängerung und die Raffung des Ligamentum calcaneonaviculare plantare [1].

2.2.10.3 knöcherne Operationen

Zu den knöchernen Operationstechniken zählen sowohl artikuläre als auch extraartikuläre sowie gelenkerhaltende und gelenkversteifende Operationen. Die Wahl der richtigen Operationstechnik richtet sich nach der passiven Korrigierbarkeit und dem Ausmaß der strukturellen Deformität [1].

Ein Beispiel für eine häufig durchgeführte, artikuläre, gelenkerhaltende Operation ist die subtalare Arthrorise. Sie ist nur bei passiv vollständig korrigierbarer Fehlstellung indiziert [10]. Durch ein Sinus-tarsi-Implantat oder eine Talus-Stopp-Schraube, die in den Calcaneus eingebracht wird, wird der Rückfuß stabilisiert und somit eine Hyperpronation des Rückfußes verhindert [4, 23]. Nach Wachstumsabschluss kann das Implantat wieder entfernt werden [23].

Bei höhergradigen knöchernen Deformitäten kann eine Osteotomie zur Korrektur der Fußstellung durchgeführt werden. Hierbei können Osteotomien mit dem Hinzufügen eines Knochenspanes, zum Beispiel eine Calcaneusverlängerung nach Evans, Verkürzungsosteotomien mit Resektion eines Keils, z.B. die Talushalsosteotomie, oder Verschiebeosteotomien, z.B. die Calcaneusverschiebeosteotomie nach Gleich, durchgeführt werden [1]. Die Auswahl der Operationstechnik orientiert sich an der Lokalisation der Deformität. Die Durchführung einer Osteotomie bietet ein höheres Korrekturpotenzial als die Durchführung einer Arthrorise [10].

Gelenkversteifende Eingriffe, wie z.B. die subtalare Arthrodesse oder die Triplearthrodesse, sollten erst nach Abschluss des Wachstums und können zum Erhalt einer Korrektur durchgeführt werden [1].

3 Zielsetzung

Der Knicksenkfuß ist die häufigste Fußfehlstellung des Menschen [1]. Die Prävalenz in der Primärversorgung wird auf 15% geschätzt [6]. Damit ist er einer der häufigsten Gründe für die Vorstellung von Kindern in der orthopädischen Praxis [8]. Die Abgrenzung des physiologischen vom pathologischen flexiblen Knicksenkfuß kann mitunter zu Schwierigkeiten führen [8]. Dadurch herrscht eine weiterhin bestehende Unsicherheit in der Therapie und ein fehlender Konsens über den Einsatz von Einlagen zur Therapie des kindlichen flexiblen Knicksenkfußes [6, 8, 34]. Insbesondere Vermutungen über die Abschwächung von Muskelaktivität im Bereich der gewölbebildenden Muskulatur und einer dadurch vermuteten Progredienz der Symptomatik sowie die Entwicklung einer „Abhängigkeit“ von Einlagen tragen zu dieser Diskussion bei [26, 32]. Bisher fehlt eine ausreichende Evidenz zur Wirksamkeit von Einlagen für die Therapie des kindlichen Knicksenkfußes. Die vorhandenen Studien sind nur von geringer Evidenz [6]. Besonders verblindete Studien sind bisher kaum veröffentlicht worden [6]. Jani et al. sowie auch Wenger et al. konnten in ihren Langzeitbeobachtungen keinen signifikanten Unterschied in der Entwicklung des medialen Längsgewölbes bei Kindern mit und ohne Einlagenversorgung nachweisen [26, 29]. Evans et al. berichteten in ihrer Metaanalyse, dass sowohl für vorgefertigte als auch für individuell angefertigte Einlagen kein Vorteil hinsichtlich der Schmerzintensität nachgewiesen werden konnte [6]. Gegensätzlich dazu konnten Murley et al. eine Aktivierung des M. tibialis posterior und des M. peroneus longus durch stützende Einlagen nachweisen [30]. Ludwig et al. konnten in ihrer Studie eine Muskelaktivierung des M. peroneus longus durch Einsatz von sensomotorischen Einlagen in Form eines zusätzlichen Peaks aufzeigen [33]. Studien zur Analyse der Wirkung von sensomotorischen Einlagen beim kindlichen Knicksenkfuß sind kaum verfügbar. Ebenso fehlen Langzeitstudien zum Vergleich von stützenden/korrigierenden und sensomotorischen Einlagen.

Während korrigierende Einlagen eine passive Korrektur der Fußfehlhaltung und damit eine Wuchslenkung erreichen sollen [8], setzen sensomotorische Einlagen einen Reiz an den Muskelspindelafferenzen und sollen so aktiv eine

Anhebung des medialen Längsgewölbes durch eine Muskelaktivierung bewirken [33].

Ziel dieser Arbeit war es, die Wirkung von korrigierenden und sensomotorischen Einlagen auf die Muskelaktivität des M. tibialis anterior und des M. peroneus longus zu untersuchen und zu vergleichen. Weiterhin sollte untersucht werden, welche Langzeitwirkungen sowohl stützende/korrigierende als auch sensomotorische Einlagen auf klinische Daten wie die Schmerzintensität, den Valgus Index, die Auflagefläche und die Fußfunktion haben und diese zwischen beiden Therapieformen zu vergleichen und möglicherweise Therapieempfehlungen ableiten zu können.

4 Methodik

4.1 Patienten

Die Einschlusskriterien für die Studie umfassten Patienten mit flexiblen Knicksenkfüßen im Alter zwischen 6 – 16 Jahren, die Einwilligung der Patienten und der Eltern an der Studie teilzunehmen und die Bereitschaft zur Nachuntersuchung. Ausschlusskriterien waren eine fehlende Einwilligung in die Studie, die Unfähigkeit die Tragweite der Therapie zu erkennen, die fehlende Bereitschaft zum Tragen von Einlagen sowie rheumatische Erkrankungen, Neuropathien jeglicher Genese, ein akutes Trauma, rigide Knicksenkfüße, ein Hohlfuß oder andere strukturelle Fehlbildungen der unteren Extremitäten.

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte durch zwei erfahrene Fachärzte für Orthopädie mit der Zusatzweiterbildung für Kinderorthopädie in der orthopädischen Universitätsklinik in Rostock. Die Diagnosestellung erfolgte anhand von klinischen Beobachtungen sowie später durch den Valgus Index, der anhand eines Blauabdrucks durch einen verblindeten Beobachter ermittelt wurde.

Insgesamt wurden 63 Patienten in die Studie eingeschlossen. Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Rekrutierung $7,8 \pm 2,6$ Jahre. Es wurden 51 Jungen und 12 Mädchen eingeschlossen. Der durchschnittliche BMI betrug $16,02 \pm 3,33$ kg/m².

Alle Patienten respektive die Eltern gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Studie. Die zuständige lokale Ethikkommission hatte keine Bedenken zur Durchführung der Studie (AZ A2016-0160).

4.2 Studiengruppen

Jedem Teilnehmer wurde zum Zeitpunkt der Rekrutierung eine Studiennummer in fortlaufender Reihenfolge zugewiesen. Jede Studiennummer war durch eine computergestützte Randomisierung einer Studiengruppe zugeordnet worden.

Für die Durchführung der Studie wurden die Probanden in 3 Gruppen eingeteilt. Die Therapiegruppe 1 erhielt die stützenden/korrigierenden Einlagen, Therapiegruppe 2 wurde mit sensomotorischen Einlagen versorgt. 6 Monate nach Rekrutierung erfolgte ein Crossover der beiden Therapiegruppen, sodass die Patienten die jeweils andere Einlage erhielten. Die Kontrollgruppe 3 erhielt zu beiden Zeitpunkten eine Placeboeinlage. Die Zuordnung zur jeweiligen Studiengruppe war nur dem beteiligten Orthopädietechniker zur Anfertigung der jeweiligen Einlage bekannt, den Eltern, Probanden und Untersuchern blieb die Zuordnung unbekannt. Die Studiengruppen unterschieden sich signifikant hinsichtlich des Alters zum Zeitpunkt der Rekrutierung, dabei waren die Probanden der Therapiegruppe 1 signifikant älter als die der Therapiegruppe 2 ($p = 0,001$) und der Kontrollgruppe 3 ($p = 0,001$; Tabelle 2). Zwischen der Therapiegruppe 2 und der Kontrollgruppe bestand kein Unterschied ($p = 0,689$). Auch die durchschnittliche Schuhgröße der Therapiegruppe 1 war signifikant größer als die der Therapiegruppe 2 ($p = 0,001$), zwischen der Kontrollgruppe und jeweils beiden Therapiegruppen bestand kein Unterschied (korrigierend: $p = 0,156$, sensomotorisch: $p = 0,179$). Hinsichtlich Geschlechterverteilung, Größe, Gewicht, BMI und Valgus Index bestand kein signifikanter Unterschied innerhalb der Studiengruppen. Die Merkmale der einzelnen Studiengruppen sind in Tabelle 2 dargestellt.

4.3 Einlagen

Die Anfertigung und Anpassung aller Einlagen für die Studie erfolgte durch immer denselben Orthopädietechniker um Unterschiede in der Bauweise zu vermeiden. Alle Einlagen wurden mit einer ähnlichen Sohlenoberfläche sowie dem gleichen Bezug versehen, um eine optische Verblindung zu ermöglichen (Abbildung 4).

Die Probanden, welche der Studiengruppe 1 zugewiesen wurden, erhielten zum Zeitpunkt der Rekrutierung eine stützende/korrigierende Einlage. Hierfür wurde die „Igli junior“-Einlage der Firma medi (Bayreuth, Deutschland) verwendet (Abbildung 4). Die Teilnehmer der Studiengruppe 2 erhielten individuell angefertigte sensomotorische Einlagen in Sonderbauweise. Um

eine möglichst optisch ähnliche Einlage zu erhalten und die Verblindung der Patienten sowie des Untersuchers zu gewährleisten, wurde auch hierfür die „Igli junior“-Einlage als Rohling verwendet und angepasst (Abbildung 4). Die Kontrollgruppe erhielt eine optisch ähnliche Placeboversion der Einlage ohne sensomotorische oder stützende/korrigierende Komponenten (Abbildung 4).

Merkmale der Studiengruppen				
	Mittelwert $\pm$ SD			p-Wert
	Therapiegruppe 1	Therapiegruppe 2	Kontrollgruppe	
Alter [Jahre]	9,27 $\pm$ 2,63	6,78 $\pm$ 2,46	7,24 $\pm$ 2,10	0,001*
Geschlecht (n)				0,918
männlich	18	19	14	
weiblich	5	4	3	
Größe [m]	1,39 $\pm$ 0,15	1,29 $\pm$ 0,13	1,32 $\pm$ 0,15	0,112
Gewicht [kg]	33,47 $\pm$ 10,97	26,23 $\pm$ 7,54	30,25 $\pm$ 10,66	0,077
BMI [kg/m ²]	16,25 $\pm$ 4,54	15,25 $\pm$ 1,87	16,64 $\pm$ 2,91	0,446
Schuhgröße	35,37 $\pm$ 3,47	32,45 $\pm$ 3,73	33,88 $\pm$ 3,28	0,002*
Valgus Index	32,66 $\pm$ 3,83	31,52 $\pm$ 3,69	31,74 $\pm$ 39,7	0,505

Tabelle 2: Merkmale der Studiengruppen, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau, n = Anzahl, m = Meter, kg = Kilogramm, kg/m² = Kilogramm/Quadratmeter.

4.4 Tragedauer

Die durch die Eltern geschätzte durchschnittlich tägliche Tragedauer der Einlagen im Schuh wurde sowohl zum 1. Messzeitpunkt nach 6 Monaten als auch zum 2. Messzeitpunkt nach 12 Monaten dokumentiert.

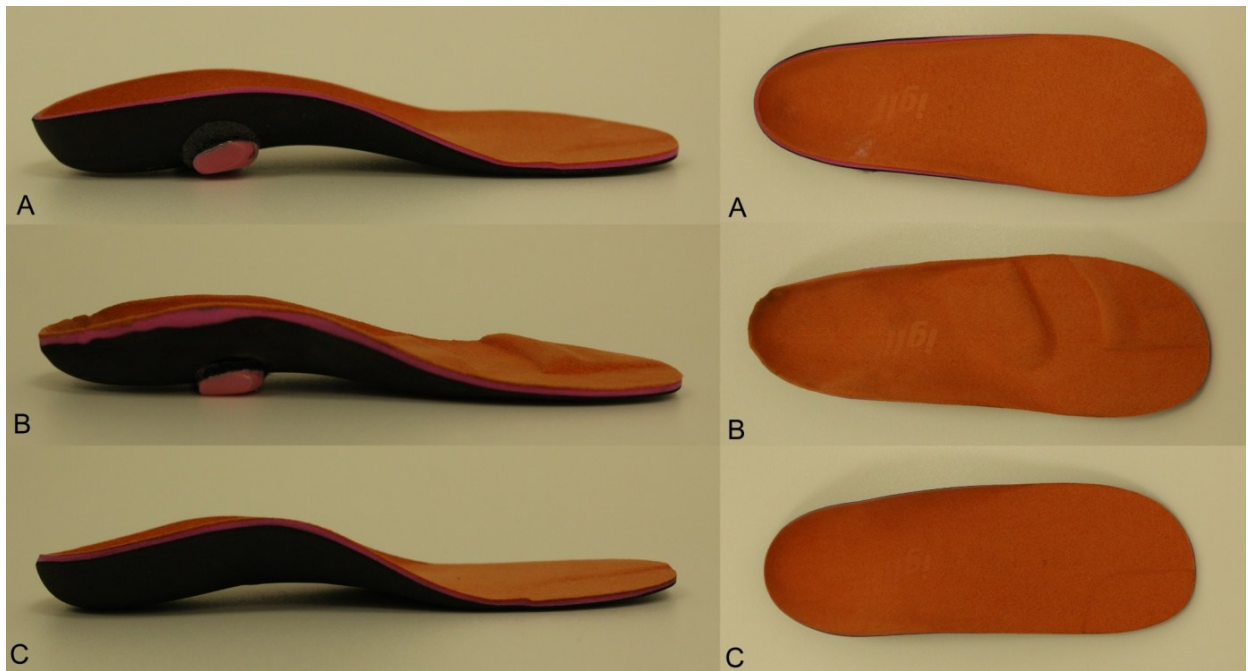


Abbildung 4: Darstellung der verwendeten Einlagen (A: stützende/korrigierende Einlage, B: sensomotorische Einlage in Sonderbauweise, C: Placebo) [35].

4.5 Übungsprogramm

Die Probanden aller Studiengruppen erhielten zusätzlich zur Einlagentherapie ein Hausübungsprogramm zur Kräftigung der kurzen Fußmuskulatur. Hierzu erhielten alle Teilnehmer ein zusammengestelltes Übungsset, welches ein Seil und einen Satz Holzmurmeln sowie eine Anleitung mit den durchzuführenden Übungen enthielt. Alle Übungen wurden den Probanden sowie den Eltern gesondert demonstriert. Die Probanden wurden angewiesen, die Übungen für 15 min täglich durchzuführen. Die tatsächliche Häufigkeit in Tagen pro Woche und Dauer der Ausführung wurden nach 6 und nach 12 Monaten anamnestisch erfasst.

4.6 Klinische Daten

4.6.1 Valgus Index

Der Valgus Index ist ein klinischer Parameter zur Beurteilung der Rückfußstellung [36]. Zur Berechnung dieses Parameters wurde zunächst ein

Fußabdruck (z.B. Blauabdruck) des Patienten angefertigt und auf diesem der Malleolus medialis und Malleolus lateralis markiert. Auf diesem Fußabdruck wurden dann die Fußachse zwischen dem Mittelpunkt der Ferse und dem Mittelpunkt der dritten Zehe und eine Verbindungslinie zwischen den Malleoli eingezeichnet. Wie in Abbildung 5 dargestellt, wurden die Linien vermessen. Der Index wird nach der Formel $0,5 \times (AB-AC) \times 100/AB$ berechnet [21]. Der Normbereich des Valgus Index wird mit 20-24 angegeben, ab einem Valgus Index von 25 liegt der Wert laut Rose et al. oberhalb der Norm und es besteht ein erhöhter Rückfußvalgus [21].

Mit Hilfe des Valgus Index kann die Position des Sprunggelenkes in Relation zur Ferse erfasst werden. Somit kann eine mediale oder laterale Verschiebung des Sprunggelenkes in Bezug zur Rückfußachse dargestellt werden. Da die Verschiebung prozentual berechnet wird, ist ein Vergleich zwischen Füßen unterschiedlicher Größe möglich [21]. Somit kann der Valgus Index zur Diagnosestellung bei Kindern herangezogen werden. Der Valgus Index ist zuverlässig und wiederholbar [36], sodass er für unsere Studie ausgewählt wurde.

Der Valgus Index wurde bei allen Probanden zu allen drei Messzeitpunkten erhoben.

4.6.2 Valgus Score

Anhand der klinisch erfassten Parameter und des Valgus Index wurde der Valgus Score modifiziert nach Rose für jeden Probanden bei jedem Messzeitpunkt ermittelt. Hierbei wurde zunächst der Fußabdruck anhand des Blauabdruckes einem Typen zugeordnet. Je nach Zuordnung wurde eine Punktzahl 0 – 2 vergeben (Abbildung 6). Zusätzlich wurde der Großzehenhebertest durchgeführt, für ein normales Ergebnis wurden 0 Punkte vergeben, bei einem intermediären Ergebnis 1 Punkt, bei einem negativen Großzehenhebertest wurden 2 Punkte berechnet. Je nach Valgus Index wurden ebenfalls 0 – 2 Punkte dazugerechnet. Insgesamt konnte eine Punktzahl von 0 – 6 Punkten erreicht werden.

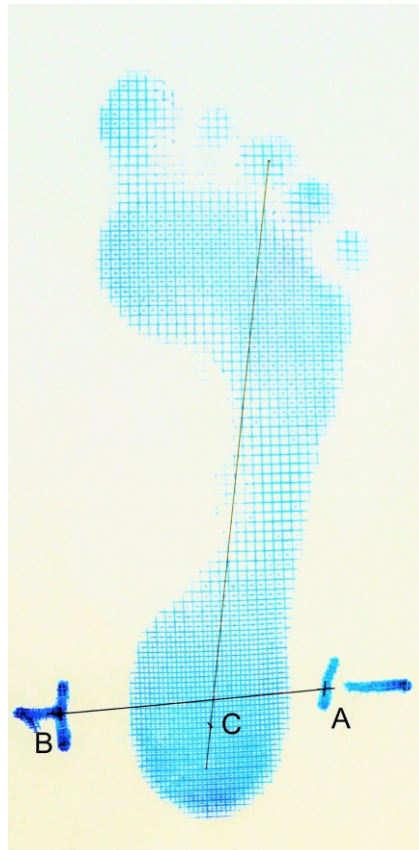


Abbildung 5: Berechnung des Valgus Index (A = Malleolus lateralis, B= Malleolus medialis, C = Schnittpunkt der Intermalleolarlinie und der Fußachse) [35].

SCORE	0	1	2
FOOTPRINT TYPE			
VALGUS INDEX	0 - 19	20 - 24	25+
TOE EXTENSION TEST	NORMAL	ARCH RISE	NEGATIVE

Abbildung 6: Tabelle zur Errechnung des Valgus Score modifiziert nach Rose [21].

4.6.3 Foot and ankle disability Index (FADI)

Der Foot and ankle disability Index ist ein Fragebogen zur Evaluation der Funktion sowie Schmerzen des Sprunggelenkes und Fußes. Er wurde erstmals 1999 von Martin et al. beschrieben [37].

Der Fragebogen beinhaltet 26 Items, darunter 22 Fragen zu alltäglichen Bewegungen und Handlungen. Die Probanden können zwischen 5 Antwortmöglichkeiten („keine Probleme“, „leichte Probleme“, „moderate Probleme“, „extreme Probleme“, „unfähig zu tun“) wählen. Die letzten 4 Fragen betreffen die vorhandenen Schmerzen im Bereich des Sprunggelenkes und Fußes, auch hier kann zwischen 5 Antwortmöglichkeiten („kein Schmerz“, „mild“, „moderat“, „stark“, „unaushaltbar“) gewählt werden (Anhang 1).

Aus den Antworten wird ein Prozentsatz ermittelt. Liegt keine Funktionsstörung vor, entspricht dies 100% im Fragebogen. Je niedriger die erreichte Prozentzahl, desto höhergradig ist die vorliegende Einschränkung des Patienten [38].

Der FADI wurde für Patienten mit Fuß- und Knöchelfunktionsstörungen als gültig und zuverlässig getestet [37]. Daher kann er im Zusammenhang mit Fuß- und Knöchelpathologien zur Bewertung von Funktionsstörungen herangezogen werden [38].

Der Fragebogen wurde allen Probanden zu allen drei Messzeitpunkten ausgehändigt und selbstständig bzw. mit Hilfe der Eltern ausgefüllt.

4.6.4 Schmerzintensität

Zu allen Messzeitpunkten erfolgte eine Erhebung der Schmerzintensität im Bereich des Sprunggelenkes und Fußes. Hierfür wurde eine numerische Rating-Skala verwendet. Der Zahlenwert 0 zeigte hierbei keinerlei Schmerzen an, der Zahlenwert 10 den stärksten vorstellbaren Schmerz (Anhang 2).

4.7 Ganganalyse

4.7.1 Vorbereitung

Die Vorbereitung zur Durchführung der Oberflächenelektromyographie erfolgte nach den Empfehlungen von Konrad [39]. Um den Hautwiderstand so gering wie möglich zu halten, erfolgte zunächst die Rasur der betreffenden Hautstellen mit einem handelsüblichen Rasierer. Darauf folgte die gründliche Desinfektion mit einem alkoholischen Desinfektionsmittel (octeniderm, Schülke & Mayr GmbH, Norderstedt, Deutschland).

Im nächsten Schritt wurden jeweils zwei Oberflächenelektroden (Blue Sensor, Firma Ambu A/S, Ballerup, Dänemark) auf den prominentesten Teil des Muskelbauches des M. tibialis anterior und M. peroneus longus mit einem Abstand von ca. 1,5 cm beidseits angebracht (Abbildung 7).

Nach Anbringen der Elektroden erfolgte die Messung der verbleibenden Stromstärke über der Haut mittels eines Strommessgerätes. Diese sollte möglichst unter 200 mA liegen. Gelang dies nicht, musste eine erneute Desinfektion der betreffenden Hautstelle und ein erneutes Anbringen der Elektroden erfolgen.

4.7.2 Elektromyographie

Zu jedem der drei Messzeitpunkte wurde eine Oberflächenelektromyographie des Musculus tibialis anterior und des Musculus peroneus longus beidseits durchgeführt. Hierfür wurde das TeleMyo 2400 T G2 (Firma Noraxon, Scottsdale, Arizona, USA) verwendet. Die Datenaufzeichnung und Auswertung erfolgte mit der MR3 3.10.30 Software (Firma Noraxon, Scottsdale, Arizona, USA).

Zu Beginn wurde die maximale Willkürkontraktion (maximum voluntary contraction, MVC) ermittelt. Hierfür wurden die Probanden gebeten den Fuß gegen einen fixierten Widerstand in Funktionsrichtung des betreffenden Muskels zu ziehen, dies wurde viermal wiederholt.

Eine dynamische Elektromyographie wurde aufgezeichnet. Gemessen wurden hierfür jeweils 7 Doppelschritte pro Durchführung. Die Messungen

erfolgten jeweils barfuß, im standardisierten Schuh ohne Einlage und im standardisierten Schuh mit der angefertigten Einlage. Jeder Patient wurde gebeten zunächst einen Probelauf durchzuführen, um das Gangbild möglichst natürlich zu gestalten. Für das EMG sollten die Teilnehmer eine definierte Strecke mit einer Schrittfrequenz von 85/min gehen. Auf eine geschwindigkeitsbasierte Messung wurde verzichtet, da aufgrund der unterschiedlichen Körpergrößen auch eine unterschiedliche Schrittlänge zu erwarten ist. Da die Geschwindigkeit und Schrittlänge einen Einfluss auf den Gangzyklus und die Muskelaktivierung haben, wurde die Schrittfrequenz gewählt, um eine interindividuelle Vergleichbarkeit zu gewährleisten [39]. Die Probanden sollten in flüssigem Gang ohne Beschleunigung oder Verlangsamung gehen.

Um das EMG mit dem Gangzyklus zu synchronisieren, erfolgte die Ganganalyse auf der Druckmessplatte FDM 1.12 (Firma Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland), sodass der Zeitpunkt des ersten Bodenkontaktes sowie das Abheben der Zehen exakt bestimmt werden konnten (Abbildung 8). Um schuhbedingte Abweichungen in den Messungen zu vermeiden, wurden alle Probanden für die Ganganalyse mit Schuhen der gleichen Bauart in der entsprechenden Schuhgröße für die Durchführung der Analyse ausgestattet. Hierfür wurde der Sport 4 (Firma Superfit, Feldkirchen bei Graz, Österreich) verwendet.

4.7.3 Auflagefläche

Zu allen drei Messzeitpunkten wurden sowohl die statische als auch die dynamische Auflagefläche barfuß ermittelt. Zur Berechnung der statischen Auflagefläche erfolgte eine Messung auf der Druckmessplatte im Stand. Hierbei sollten beide Beine gleichmäßig belastet und das Gewicht gleichmäßig verteilt werden. Es wurden jeweils drei Messungen durchgeführt, aus denen der Mittelwert errechnet wurde.

Die dynamische Auflagefläche wurde ebenfalls aus 7 Doppelschritten berechnet. Hierzu wurde die maximale Auflagefläche während der mittleren Standphase im Gangzyklus ermittelt und ein Mittelwert berechnet.

Um die Änderung der statischen und dynamischen Auflagefläche nach durchgeführter Einlagentherapie zwischen den Studiengruppen zu vergleichen, wurden die Differenzen aus den Messungen vor und nach der Intervention gebildet.

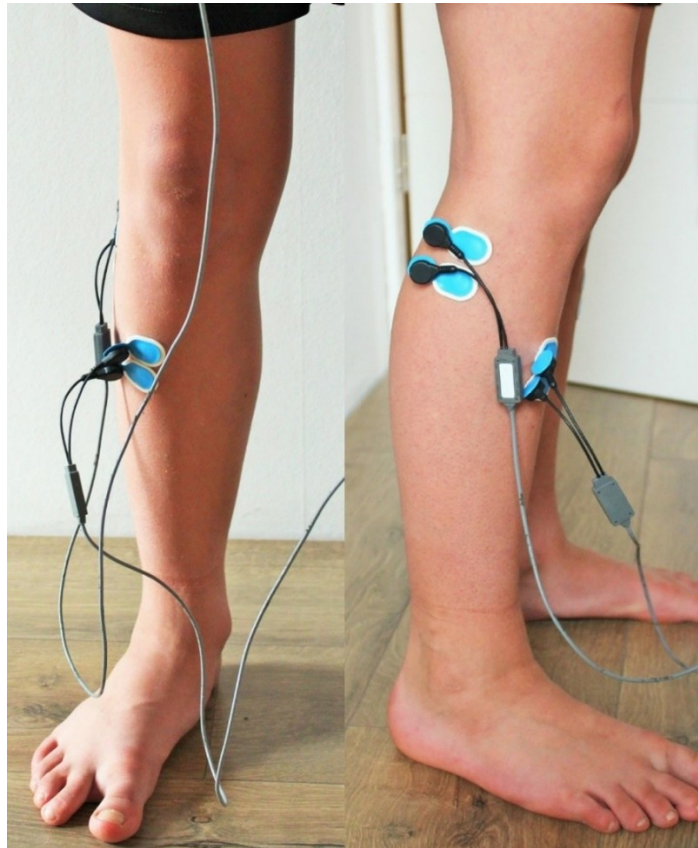


Abbildung 7: Positionierung der Oberflächenelektroden über dem M. tibialis anterior und M. peroneus longus im prominentesten Bereich [Eigenes Bild].

4.7.4 Auswertung

Im ersten Schritt wurde die maximal voluntary contraction (MVC) ermittelt, indem aus den vier wiederholten Messungen ein Mittelwert gebildet wurde. Die aufgezeichneten Daten des dynamischen EMG wurden zunächst gleichgerichtet (rektifiziert), geglättet und im letzten Schritt zum ermittelten MVC normalisiert.

Ausgewertet wurden jeweils das Maximum, die Amplitude, der Mittelwert und das Integral der 7 Doppelschritte während der mittleren Standphase. Hieraus wurden ebenfalls die Mittelwerte gebildet.



Abbildung 8: Ganganalyse auf der Druckmessplatte mit angelegtem EMG.

4.8 Statistik

Im Voraus wurde eine Poweranalyse mit G-Power TM (Version 3.1.9.7., Universität Düsseldorf, Deutschland) durchgeführt. Die ermittelte Stichprobengröße betrug $n = 107$ (gegebene Effektgröße: 0,5, $\alpha = 0,05$).

Die deskriptive Statistik wurde für kontinuierliche Variablen unter der Verwendung der Mittelwerte (M) $\pm$ 1 Standardabweichung (SD) durchgeführt. Für kategoriale Daten wurden absolute und relative Häufigkeitsverteilungen verwendet.

Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test und grafisch mittels Q-Q-Plot geprüft. Zur Prüfung der Varianzhomogenität wurde der Levene-Test herangezogen.

Die Studiengruppen wurden aufgrund des Cross-over Designs in Gruppen ohne und mit vorheriger Therapie unterteilt und dementsprechend miteinander verglichen.

Die einfaktorielle ANOVA mit gruppenweisem Vergleich wurde durchgeführt, um die drei Studiengruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten untereinander zu vergleichen. Sie wurde für kontinuierliche Variablen, welche eine Normalverteilung und Varianzhomogenität aufwiesen, verwendet. Dies betraf den Valgus Index, den Foot and ankle disability Index und die tägliche Tragedauer. Um die Veränderung innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messzeitpunkten vor und nach durchgeführter Intervention zu untersuchen, wurde die einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen herangezogen. Diese wurde ebenfalls für kontinuierliche und intervallskalierte Variablen genutzt, Voraussetzungen hierfür waren die Abhängigkeit der Messungen (wiederholte Messungen an derselben Kohorte), die Normalverteilung der Daten sowie die Sphärizität. Dies traf auf die Variablen Valgus Index, Foot and ankle disability Index, tägliche Tragedauer, Häufigkeit des Hausübungsprogrammes, statische und dynamische Auflagefläche, die Schuhgröße sowie die Parameter der Elektromyographie zu. Für die Parameter der Elektromyographie wurde die Änderung zwischen Messung mit und ohne Einlage zum jeweiligen Messzeitpunkt verglichen.

Die einfaktorielle MANOVA wurde ebenfalls für den Vergleich zwischen den Studiengruppen zum jeweiligen Messzeitpunkt verwendet. Diese wurde verwendet, wenn mehr als eine abhängige Variable verglichen werden sollte. Sie wurde für kontinuierliche Variablen durchgeführt, welche eine Normalverteilung, Linearität und Varianzhomogenität aufwiesen, eine Multikollinearität wurde ausgeschlossen. Hiermit wurden sowohl die statische als auch die dynamische Auflagefläche verglichen. Für alle EMG-Parameter wurden zunächst die Differenzen aus den Messungen mit und ohne Einlagen gebildet und diese Differenzen zwischen den Studiengruppen verglichen.

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test wurde hinzugezogen, um ordinalskalierte sowie intervallskalierte Variablen innerhalb der Studiengruppen zwischen zwei Messzeitpunkten zu vergleichen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Messungen voneinander abhängig durchgeführt wurden, also eine Kohorte mehrmals untersucht wurde. Im Voraus wurde die Verteilung der Differenzen

auf die Symmetrie überprüft. Die standardisierte Teststatistik (z) wurde berechnet und interpretiert. Dieser Test wurde für den Valgus Score und die Schmerzintensität genutzt.

Um ordinal- und intervallskalierte Variablen zwischen den Studiengruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten zu vergleichen, wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Hierbei wird der mittlere Rang jeder Studiengruppe berechnet und miteinander verglichen. Als Prüfgröße wurde das Kruskal-Wallis-H berechnet. Voraussetzung hierfür ist, dass mindestens 3 Stichproben miteinander verglichen werden. Eine Normalverteilung muss nicht vorliegen. Mit diesem Test wurden die Variablen Valgus Score und Schmerzintensität miteinander verglichen. Da die Häufigkeit der Hausübungen im Vergleich der Studiengruppen untereinander keine Normalverteilung aufwies, wurde auch hier der Kruskal-Wallis-Test berechnet.

Für die Modelle wurden alle Fälle einbezogen, für die die Daten vollständig vorlagen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$) festgelegt.

Die statistischen Analysen wurden mit der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 29.0.1.1 (SPSS, Chicago, IL) durchgeführt.

5 Ergebnisse

5.1 Valgus Index

5.1.1 Vergleich innerhalb der Gruppen

In den Therapiegruppen 1 und 2 konnte zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und dem 1. Messzeitpunkt nach 6 Monaten sowie zwischen den Messungen nach 6 und nach 12 Monaten kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Valgus Index nachgewiesen werden.

In der Kontrollgruppe, welche die Placeboeinlage erhielt, konnte zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und dem Messzeitpunkt nach 6 Monaten ein signifikanter Anstieg des Valgus Index festgestellt werden ($p = 0,016$). Im Vergleich zwischen den Messzeitpunkten nach 6 und 12 Monaten zeigte sich keine signifikante Änderung (Tabelle 3).

Valgus Index	n	Mittelwert $\pm$ SD		p-Wert
		ZP 0	ZP 1	
stützend ohne Vortherapie	36	32,59 $\pm$ 3,47	32,64 $\pm$ 3,07	0,94
sensomotorisch ohne Vortherapie	36	32,28 $\pm$ 3,94	33,80 $\pm$ 3,18	0,07
Placebo ohne Vortherapie	32	31,72 $\pm$ 4,06	33,53 $\pm$ 3,72	0,016*
sensomotorisch mit Vortherapie	17	32,79 $\pm$ 3,05	33,73 $\pm$ 2,72	0,36
stützend mit Vortherapie	26	34,03 $\pm$ 3,16	33,76 $\pm$ 4,18	0,71
Placebo mit Vortherapie	18	33,68 $\pm$ 2,43	34,10 $\pm$ 3,32	0,56

Tabelle 3: Vergleich des Valgus Index innerhalb der Gruppen zwischen Messzeitpunkt 0 und 1, ZP 0 = Messzeitpunkt vor Therapie, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten nach Therapie, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.1.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Im Vergleich beider Therapiegruppen und der Kontrollgruppe hinsichtlich des Valgus Index, ließ sich kein signifikanter Unterschied zu allen drei Messzeitpunkten feststellen (Tabelle 4).

Valgus Index	Mittelwert $\pm$ SD (n)			p-Wert
	Therapiegruppe 1	Therapiegruppe 2	Placebo	
ZP 0	32,59 $\pm$ 3,47 (36)	32,28 $\pm$ 3,94 (36)	31,72 $\pm$ 4,06 (32)	0,646
ZP 1	32,64 $\pm$ 3,07 (36)	33,80 $\pm$ 3,18 (36)	33,53 $\pm$ 3,72 (32)	0,276
ZP 2	33,73 $\pm$ 2,72 (17)	33,76 $\pm$ 4,18 (26)	34,10 $\pm$ 3,32 (18)	0,932

Tabelle 4: Vergleich zwischen den Therapiegruppen und der Kontrollgruppe zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.

5.2 Valgus Score

5.2.1 Vergleich innerhalb der Gruppen

In der Therapiegruppe 1, welche die stützenden/korrigierenden Einlagen erhalten hatte, trat zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und der Messung nach 6 Monaten ein signifikanter Abfall des Valgus Scores auf (Tabelle 5). In allen anderen Studiengruppen konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (Tabelle 5).

5.2.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Zwischen den zwei Therapiegruppen und der Kontrollgruppe ließ sich hinsichtlich des Valgus Scores zu allen drei Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied feststellen (Tabelle 6).

Valgus Score	n	Mittelwert ± SD [Punkte]		z	p-Wert
		ZP0	ZP1		
stützend ohne Vorthherapie	36	4,26 ± 0,511	3,88 ± 0,478	-2,209	0,027*
sensomotorisch ohne Vorthherapie	36	4,06 ± 0,860	3,97 ± 0,506	-0,632	0,528
Placebo ohne Vorthherapie	32	4,14 ± 0,932	3,86 ± 0,651	-1,166	0,243
sensomotorisch mit Vorthherapie	16	4,00 ± 0,516	4,13 ± 0,885	0,577	0,564
stützend mit Vorthherapie	26	4,13 ± 0,448	3,92 ± 0,584	-1,667	0,096
Placebo mit Vorthherapie	18	4,06 ± 0,539	4,06 ± 0,873	0	1,000

Tabelle 5: Vergleich des Valgus Scores innerhalb der Gruppen zwischen Messzeitpunkt 0 vor Therapie und Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten Therapie, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, ZP0 = Messzeitpunkt vor Therapie, ZP1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten Therapie, z = standardisierte Teststatistik, p-Wert = asymptotische Signifikanz.

Valgus Score	Mittelwert ± SD (n)			Kruskal-Wallis-H	p-Wert
	Therapiegruppe 1	Therapiegruppe 2	Placebogruppe		
ZP 0	4,26 ± 0,511 (36)	4,06 ± 0,860 (36)	4,14 ± 0,932 (32)	1,67	0,437
ZP1	3,88 ± 0,478 (36)	3,97 ± 0,506 (36)	3,86 ± 0,651 (32)	0,71	0,710
ZP2	4,13 ± 0,885 (16)	3,92 ± 0,584 (26)	4,06 ± 0,873 (18)	0,48	0,789

Tabelle 6: Vergleich des Valgus Scores zwischen den drei Studiengruppen zu allen drei Messzeitpunkten, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.

5.3 Foot and ankle disability Index (FADI)

5.3.1 Vergleich innerhalb der Gruppen

In Therapiegruppe 2, welche initial mit sensomotorischen Einlagen versorgt wurde, bestand zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und der 1. Kontrollmessung nach 6 Monaten ein signifikanter Anstieg des FADI, was einer subjektiven Verbesserung der Fußfunktion entspricht ($p = 0,025$). Nach Tausch der Therapie mit Versorgung mit einer stützenden/korrigierenden Einlage konnte in Therapiegruppe 2 zwischen den Messzeitpunkten nach 6 und nach 12 Monaten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abbildung 9). In Therapiegruppe 1 konnte sowohl zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und der Kontrolle nach 6 Monaten als auch zwischen der Kontrolle nach 6 Monaten und nach 12 Monaten kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. In der Kontrollgruppe war zwischen der Untersuchung nach 6 und 12 Monaten tendenziell eine Verschlechterung sichtbar ($p = 0,09$; Abbildung 9).

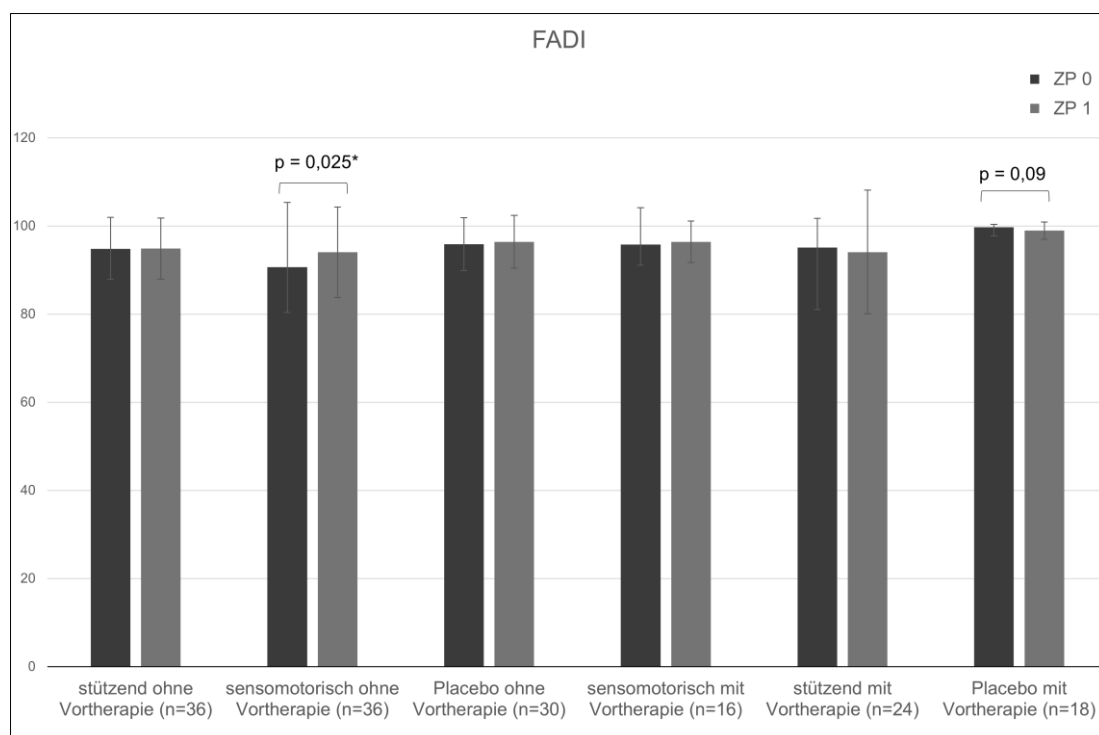


Abbildung 9: Vergleich des FADI innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messzeitpunkten, ZP0 = Messzeitpunkt vor Therapie, ZP 1= Messzeitpunkt nach 6 Monaten nach Therapie, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.

5.3.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Im FADI konnte zwischen den 3 Studiengruppen zu allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Tabelle 7).

FADI	Mittelwert $\pm$ SD [%] (n)			p-Wert
	Therapiegruppe 1	Therapiegruppe 2	Placebo	
ZP 0	94,81 $\pm$ 7,11 (36)	90,64 $\pm$ 14,71 (36)	95,83 $\pm$ 6,02 (30)	0,166
ZP 1	94,86 $\pm$ 6,94 (36)	94,01 $\pm$ 10,25 (36)	96,40 $\pm$ 5,98 (30)	0,432
ZP 2	96,39 $\pm$ 4,69 (16)	94,08 $\pm$ 14,04 (24)	98,92 $\pm$ 1,96 (18)	0,058

Tabelle 7: Vergleich des FADI zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Rekrutierungszeitpunkt, ZP 1= Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, n = Stichprobengröße.

5.4 Schmerzintensität

5.4.1 Vergleich innerhalb der Gruppen

Im Vergleich zwischen den Messzeitpunkten innerhalb der Studiengruppen konnte lediglich in der Therapiegruppe 2, welche nach Cross-over die stützenden/korrigierenden Einlagen erhalten hatte, ein signifikanter Abfall der Schmerzintensität zwischen der ersten Messung und der Messung nach 6 Monaten nachgewiesen werden (Tabelle 8).

In allen anderen Studiengruppen ergab sich kein Nachweis eines signifikanten Unterschiedes (Tabelle 8).

5.4.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Im Vergleich hinsichtlich der Schmerzintensität zwischen den 3 Studiengruppen zeigte sich sowohl zum Zeitpunkt der Rekrutierung als auch zum Zeitpunkt der 1. Messung nach 6 Monaten kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Therapiegruppen und der Kontrollgruppe (Tabelle 9).

Zum dritten Messzeitpunkt nach 12 Monaten wies die Therapiegruppe 2, die mit der stützenden/korrigierenden Einlage versorgt wurde, eine höhere Schmerzintensität als die Kontrollgruppe auf ($p = 0,009^*$) (Tabelle 9). Zwischen beiden Therapiegruppen bestand kein signifikanter Unterschied ($p = 0,159$). Auch zwischen der Therapiegruppe 1, welche die sensomotorische Einlage getragen hatte, und der Kontrollgruppe war kein signifikanter Unterschied festzustellen ($p = 1,0$).

NRS	n	Mittelwert $\pm$ SD		z	p-Wert
		ZP 0	ZP 1		
stützend ohne Vortherapie	34	1,06 $\pm$ 1,92	1,24 $\pm$ 2,22	0,24	0,811
sensomotorisch ohne Vortherapie	36	1,39 $\pm$ 2,27	1,17 $\pm$ 2,01	-1,11	0,265
Placebo ohne Vortherapie	28	0,36 $\pm$ 1,06	0,43 $\pm$ 0,92	0,36	0,719
sensomotorisch mit Vortherapie	16	0,63 $\pm$ 1,71	0,13 $\pm$ 0,34	-1,41	0,157
stützend mit Vortherapie	24	1,17 $\pm$ 1,61	0,67 $\pm$ 0,96	-2,00	0,046*
Placebo mit Vortherapie	18	0,11 $\pm$ 0,32	0,00 $\pm$ 0,00	-1,41	0,157

Tabelle 8: Vergleich der Schmerzintensität innerhalb der Studiengruppen zwischen Messzeitpunkt 0 und Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, NRS = Schmerzintensität auf der Numerischen Rating-Skala, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, z = standardisierte Teststatistik, p-Wert = asymptotische Signifikanz.

5.5 Tragedauer

5.5.1 Vergleich innerhalb der Gruppen

Hinsichtlich der Tragedauer konnte zwischen den Messzeitpunkten nach 6 Monaten und nach 12 Monaten in allen Studiengruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Tabelle 10).

NRS	Mittelwert $\pm$ SD (n)			Kruskal-Wallis-H	p-Wert
	Therapiegruppe 1	Therapiegruppe 2	Placebo		
ZP 0	0,65 $\pm$ 1,17 (40)	0,57 $\pm$ 1,27 (42)	0,18 $\pm$ 0,73 (33)	4,70	0,095
ZP 1	1,39 $\pm$ 2,25 (36)	0,82 $\pm$ 1,45 (34)	0,40 $\pm$ 0,89 (30)	2,69	0,260
ZP 2	0,13 $\pm$ 0,34 (16)	0,45 $\pm$ 0,67 (22)	0,00 $\pm$ 0,00 (18)	9,37	0,009*

Tabelle 9: Vergleich der Schmerzintensität zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, NRS = Schmerzintensität auf der Numerischen Rating-Skala, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, n = Stichprobengröße, p- Wert = Signifikanzniveau.

Tragedauer	n	Mittelwert $\pm$ SD [h/d]		p-Wert
		ZP 1	ZP 2	
Therapiegruppe 1	16	5,88 $\pm$ 2,53	5,06 $\pm$ 3,34	0,385
Therapiegruppe 2	18	4,44 $\pm$ 2,07	5,11 $\pm$ 2,32	0,081
Kontrollgruppe	18	7,67 $\pm$ 1,87	7,00 $\pm$ 1,41	0,262

Tabelle 10: Vergleich der Tragedauer innerhalb der Studiengruppen zwischen beiden Messzeitpunkten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, n = Stichprobengröße, h/d = Stunden pro Tag.

5.5.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Im Vergleich der Therapiearme untereinander hinsichtlich der geschätzten täglichen Tragedauer der Einlagen wies die Therapiegruppe 2, welche die sensomotorischen Einlagen erhalten hatte, eine niedrigere tägliche Tragedauer auf als die Kontrollgruppe ($p = 0,04$) (Abbildung 10). Sowohl zwischen beiden Therapiegruppen ($p = 0,13$) als auch zwischen der Therapiegruppe 1, die die stützenden Einlagen erhalten hatte, und der Kontrollgruppe ($p = 0,81$) war der Unterschied nicht signifikant (Abbildung 10). Nach 12 Monaten konnte zwischen allen 3 Gruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p = 0,184$;Abbildung 10).

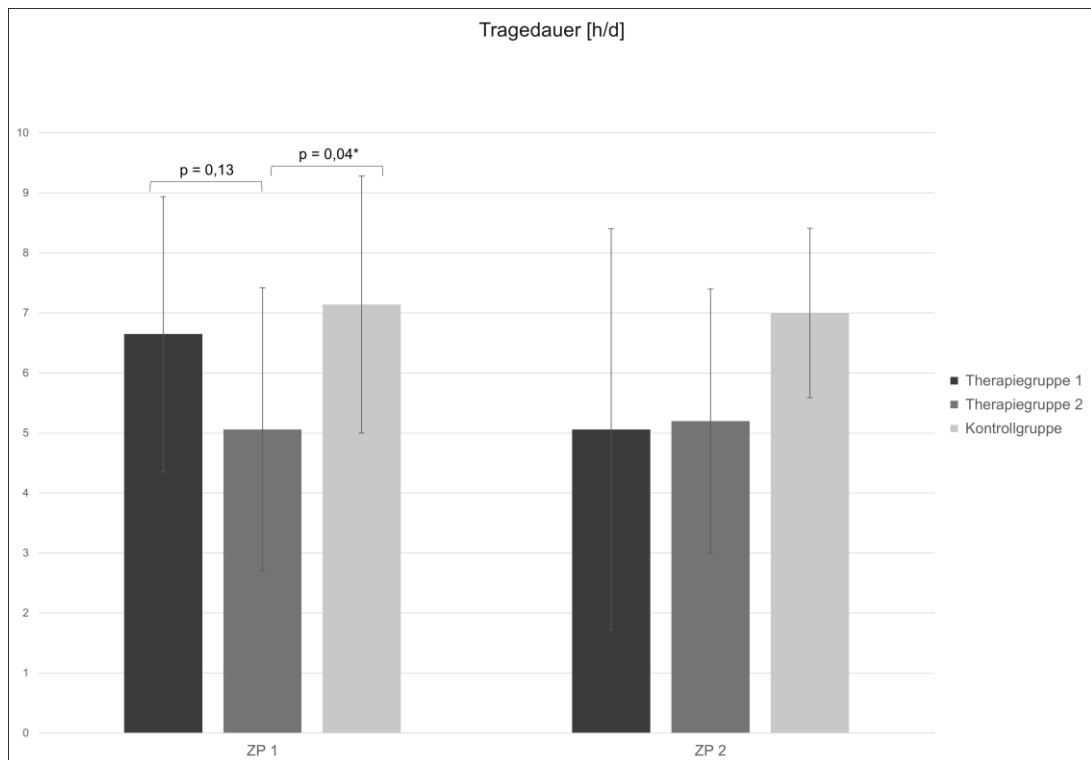


Abbildung 10: Vergleich der Tragedauer zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 1 = Zeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Zeitpunkt 2 nach 12 Monaten, p = Signifikanzniveau, h/d = Stunden pro Tag.

5.6 Hausübungsprogramm

In allen Therapiearmen erfolgte die Durchführung des Übungsprogramms ohne wesentliche Unterschiede. Die Intensität veränderte sich über die Zeit ebenfalls nicht signifikant. (Tabelle 11 und Tabelle 12).

Hausübungen	n	Mittelwert ± SD [d/Woche]		p-Wert
		ZP 1	ZP 2	
Therapiegruppe 1	18	2,25 ± 1,39	1,62 ± 1,30	0,250
Therapiegruppe 2	18	1,88 ± 2,48	3,25 ± 2,77	0,252
Kontrollgruppe	19	1,89 ± 1,05	1,00 ± 1,00	0,052

Tabelle 11: Vergleich der Häufigkeit der Durchführungen des Hausübungsprogrammes [Tage/Woche] innerhalb der Gruppen zwischen den Messzeitpunkten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau, d = Tage.

Haus- übungen	Mittelwert $\pm$ SD [d/Woche] (n)			p-Wert
	Therapiegruppe 1	Therapiegruppe 2	Kontrollgruppe	
ZP 1	2,24 $\pm$ 2,25 (17)	2,25 $\pm$ 2,32 (16)	2,67 $\pm$ 1,98 (15)	0,616
ZP 2	1,63 $\pm$ 1,30 (8)	2,80 $\pm$ 2,66 (10)	1,00 $\pm$ 1,00 (9)	0,265

Tabelle 12: Vergleich der Häufigkeit der durchgeführten Hausübungen zwischen den Gruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, d = Tage, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.

5.7 Auflagefläche

5.7.1 statische Auflagefläche

Zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und dem Messzeitpunkt nach 6 Monaten konnte in allen drei Studiengruppen keine Änderung der statischen Auflagefläche nachgewiesen werden (Abbildung 11).

In der Kontrollgruppe stieg die statische Auflagefläche zwischen den Messungen nach 6 Monaten und 12 Monaten signifikant an (Abbildung 11).

Im Vergleich zwischen den Studiengruppen war zu allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied nachweisbar.

5.7.2 dynamische Auflagefläche

5.7.2.1 Vergleich innerhalb der Gruppen

Im Vergleich der dynamischen Auflagefläche innerhalb der Studiengruppen vor und nach Intervention, konnte in allen Studiengruppen ein signifikanter Anstieg festgestellt werden (Tabelle 13).

Lediglich in Therapiegruppe 1, welche nach Cross-over die sensomotorische Einlage erhalten hatte, vergrößerte sich die dynamische Auflagefläche zwischen den Messungen nach 6 und nach 12 Monaten nicht (Tabelle 13).

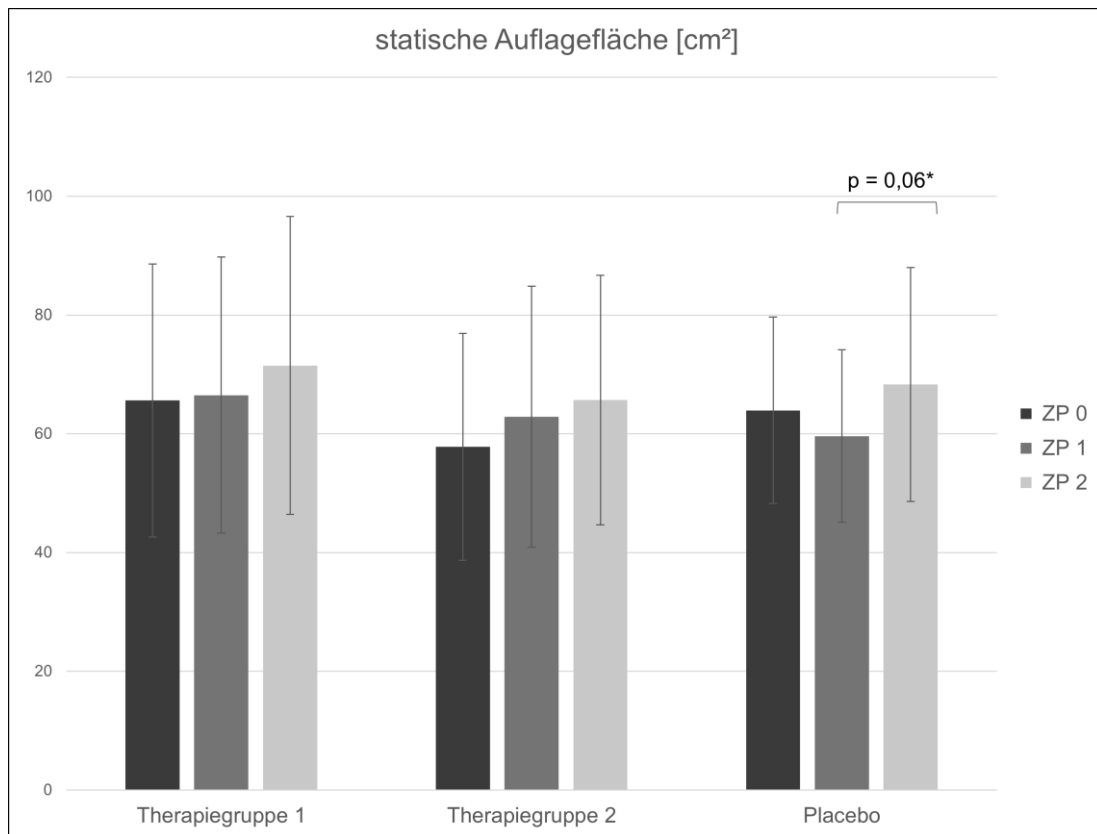


Abbildung 11: Vergleich der statischen Auflagefläche innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messzeitpunkten, p- Wert = Signifikanzniveau, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten mit Cross-over, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten.

dynamische Auflagefläche	n	Mittelwerte $\pm$ SD [cm ²]		p-Wert
		ZP 0	ZP 1	
stützend ohne Vortherapie	36	77,44 $\pm$ 18,77	82,78 $\pm$ 21,56	0,001*
sensomotorisch ohne Vortherapie	36	64,64 $\pm$ 12,74	68,69 $\pm$ 14,58	0,001*
Placebo ohne Vortherapie	32	70,50 $\pm$ 14,74	72,87 $\pm$ 14,61	0,017*
sensomotorisch mit Vortherapie	16	72,19 $\pm$ 22,72	72,94 $\pm$ 22,29	0,617
stützend mit Vortherapie	24	69,92 $\pm$ 13,07	75,21 $\pm$ 13,49	0,001*
Placebo mit Vortherapie	24	74,75 $\pm$ 12,65	82,08 $\pm$ 14,73	0,001*

Tabelle 13: Vergleich der dynamischen Auflagefläche innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messungen, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, p- Wert = Signifikanzniveau, ZP 0 = Messzeitpunkt vor Durchführung der Therapie, ZP 1 = Messzeitpunkt nach Durchführung der Therapie.

5.7.2.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Im Vergleich der Änderung der dynamischen Auflagefläche nach durchgeführter Intervention zeigte sich zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten kein signifikanter Unterschied zwischen den 3 Studiengruppen ($p = 0,554$; Abbildung 12).

Zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten nahm die dynamische Auflagefläche im Vergleich zur Therapiegruppe 1 sowohl in Therapiegruppe 2 (herkömmliche Einlage, $p = 0,048$) als auch in der Kontrollgruppe ($p = 0,022$) signifikant zu (Abbildung 12). Zwischen der Therapiegruppe 2 und der Kontrollgruppe bestand kein signifikanter Unterschied ($p = 0,865$) (Abbildung 12).

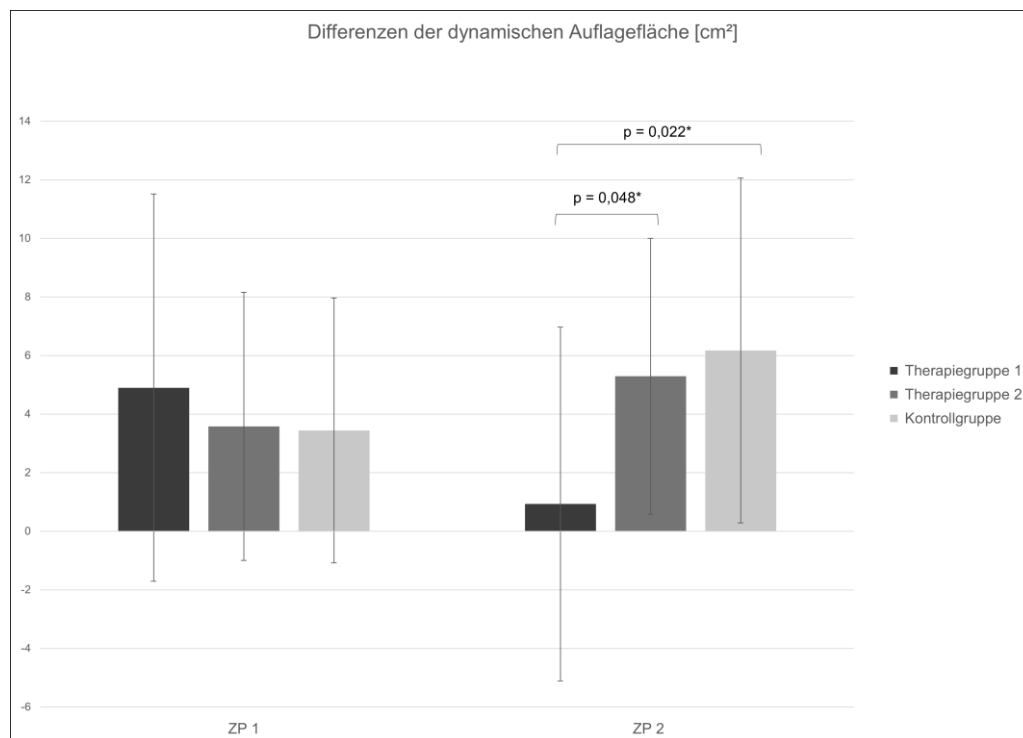


Abbildung 12: Vergleich zwischen den Studiengruppen hinsichtlich der Veränderung der dynamischen Auflagefläche zwischen zwei Messzeitpunkten, ZP 1 = Differenz vom Messzeitpunkt 0 zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Differenz vom Messzeitpunkt 1 zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau.

5.7.3 Schuhgröße

Die Schuhgröße stieg in allen Studiengruppen zwischen der Rekrutierung und der Messung nach 6 Monaten sowie zwischen der Messung nach 6 und 12 Monaten an (Abbildung 13).

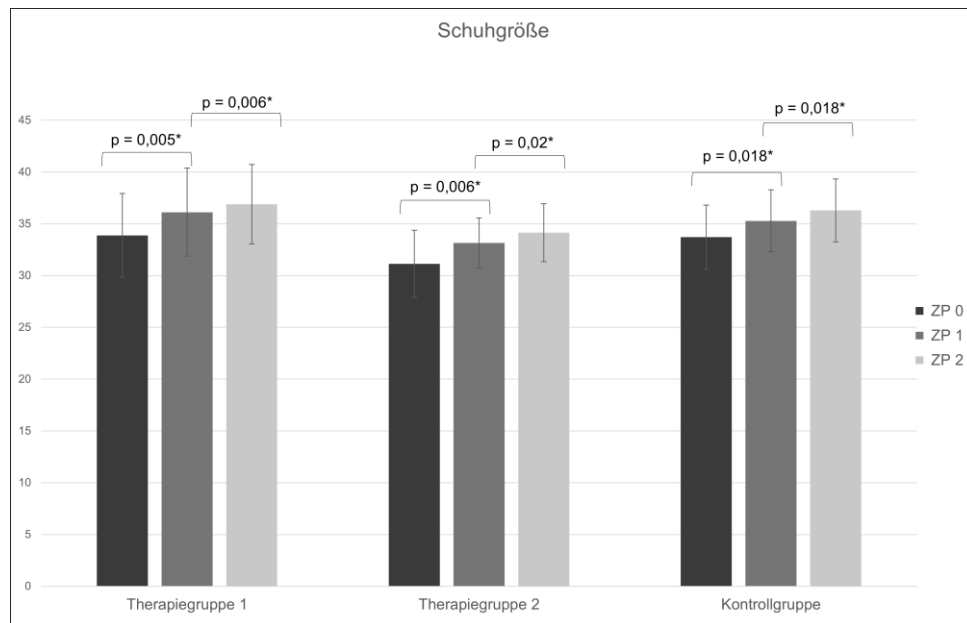


Abbildung 13: Vergleich der Schuhgröße innerhalb aller Studiengruppen zwischen dem Messzeitpunkt vor und nach der Intervention, ZP 0 = Messzeitpunkt vor Intervention, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten mit Cross-over, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8 Elektromyographie

5.8.1 M. tibialis anterior

5.8.1.1 Maximum

Hinsichtlich des Maximums der Aktivität des M. tibialis anterior konnte in allen Studiengruppen zu allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied zwischen der Messung mit Einlage und der Messung ohne Einlage nachgewiesen werden.

Im Vergleich der Differenzen des Maximums aus den Messungen mit und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen führten die Einlagen in beiden

Therapiegruppen (1 und 2) zum Zeitpunkt der Rekrutierung zu einer vergleichbaren Abnahme der Muskelaktivität ($p = 0,726$), während in der Kontrollgruppe ein Anstieg zu verzeichnen war (Abbildung 14). Hierbei bestand nur zwischen der Therapiegruppe 1 mit den stützenden Einlagen und der Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied in der Änderung der Muskelaktivität ($p = 0,023$) (Abbildung 14).

Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten unterschieden sich alle 3 Studiengruppen bezüglich der Differenzen des Maximums aus den Messungen mit den alten Einlagen und ohne Einlagen nicht signifikant.

Bei der Betrachtung der Differenzen aus den Messungen mit den neu verordneten Einlagen und den Messungen ohne Einlagen kam es in der Therapiegruppe 2, die mit der stützenden/korrigierenden Einlage versorgt wurde, zu einem relativen Anstieg der Muskelaktivität. Dieser unterschied sich signifikant zur Therapiegruppe 1 ($p = 0,001$) und zur Kontrollgruppe ($p = 0,017$) (Abbildung 14). In der Therapiegruppe 1, die nun die sensomotorische Einlage erhalten hatte, und der Kontrollgruppe konnte ein vergleichbarer Abfall der Muskelaktivität beobachtet werden ($p = 0,369$).

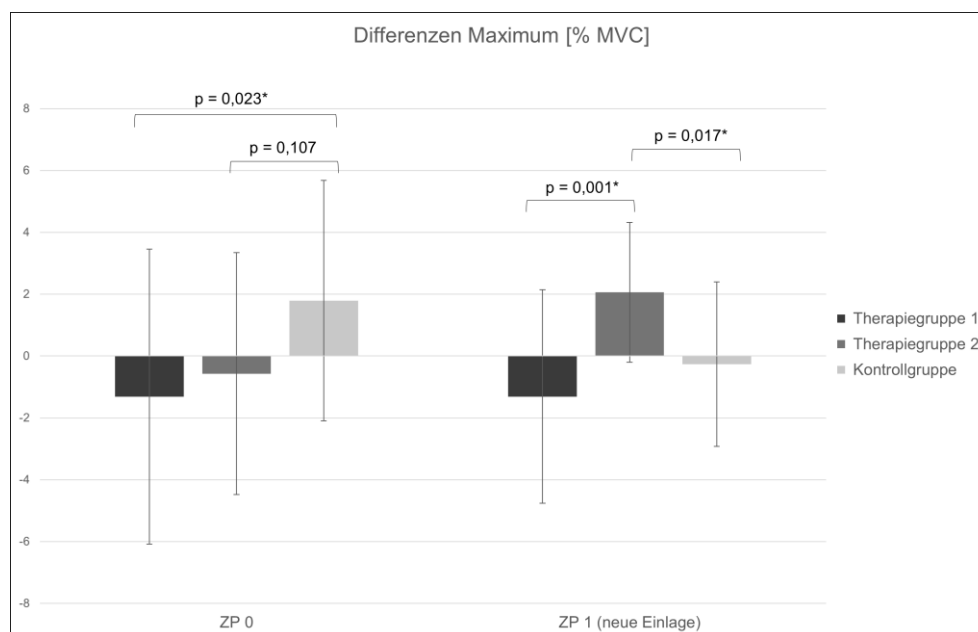


Abbildung 14: Vergleich der Differenzen des Maximums des M. tibialis anterior aus den Messungen mit und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Messzeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8.1.2 Mean

Zwischen den Messungen mit Einlagen und ohne Einlagen im Schuh zu den jeweiligen Messzeitpunkten konnte hinsichtlich des Parameters Mean in keiner Studiengruppe ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Hinsichtlich der Differenzen des Mean aus den Messungen mit und ohne Einlagen kam es zum Zeitpunkt der Rekrutierung in der Gruppe mit den korrigierenden Einlagen zu einer Verminderung der Muskelaktivität, welche sich zum Anstieg der Muskelaktivität durch die sensomotorische Einlage ($p = 0,02$) unterschied. Die Placeboeinlage führte im Vergleich zur sensomotorischen Einlage zu einem vergleichbaren Anstieg des Mean ($p = 0,992$), zur stützenden Einlage zeigte sich hingegen nur ein tendenzieller Unterschied ($p = 0,08$) (Abbildung 15).

Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten bestand im Vergleich der Differenzen aus den Messungen mit den alten Einlagen und den Messungen ohne Einlagen kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Studiengruppen ($p = 0,101$). Bei Betrachtung der Differenzen aus den Messungen mit den neuen Einlagen und ohne Einlagen führte die neue stützende/korrigierende Einlage zu einer Steigerung der Muskelaktivität, welche sich zu dem Abfall der Muskelaktivität sowohl in der Gruppe mit den sensomotorischen Einlagen ($p = 0,001$) als auch der Kontrollgruppe ($p = 0,009$) unterschied (Abbildung 15). Der Abfall der Muskelaktivität zwischen der Gruppe mit den neuen sensomotorischen Einlagen und der Placeboeinlage unterschied sich hingegen nicht ($p = 0,678$). Zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten kam es in der Therapiegruppe 2 durch die korrigierende Einlage zu einer Verringerung des Mean, während es in der Kontrollgruppe zu einem Anstieg kam ($p = 0,036$). Die Kontrollgruppe und die Gruppe mit der sensomotorischen Einlage wiesen einen vergleichbaren Anstieg des Mean auf ($p = 0,45$) (Abbildung 15).

5.8.1.3 Amplitude

Zum Zeitpunkt der Rekrutierung konnte durch die stützende Einlage ein signifikanter Abfall der Muskelaktivität des M. tibialis anterior zwischen der Messung ohne Einlagen und der Messung mit Einlagen festgestellt werden ($p = 0,027$) (Abbildung 16). In der Therapiegruppe 2 und der Kontrollgruppe

war zum Zeitpunkt der Rekrutierung keine signifikante Änderung erkennbar (Abbildung 16).

Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten führte in Therapiegruppe 1 die neue sensomotorische Einlage zu einer signifikant geringeren Muskelaktivierung im Vergleich zur Messung ohne Einlage ($p = 0,028$) (Abbildung 16). Zwischen der Messung ohne Einlage und der Messung mit der alten stützenden/korrigierenden Einlage ($p = 0,757$) sowie zwischen der alten und der neuen Einlage ($p = 0,339$) waren keine Unterschiede erkennbar. Die Messungen der Therapiegruppe 2 und der Kontrollgruppe erbrachten keinen Unterschied bezüglich der Amplitude (Abbildung 16). Zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten konnte in allen drei Studiengruppen keine Änderung der Muskelaktivität zwischen den Messungen ohne und mit Einlagen herausgestellt werden.

Vergleicht man die Differenzen zu den einzelnen Messzeitpunkten, so konnte zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zwischen den 3 Studiengruppen in der Muskelaktivierung festgestellt werden.

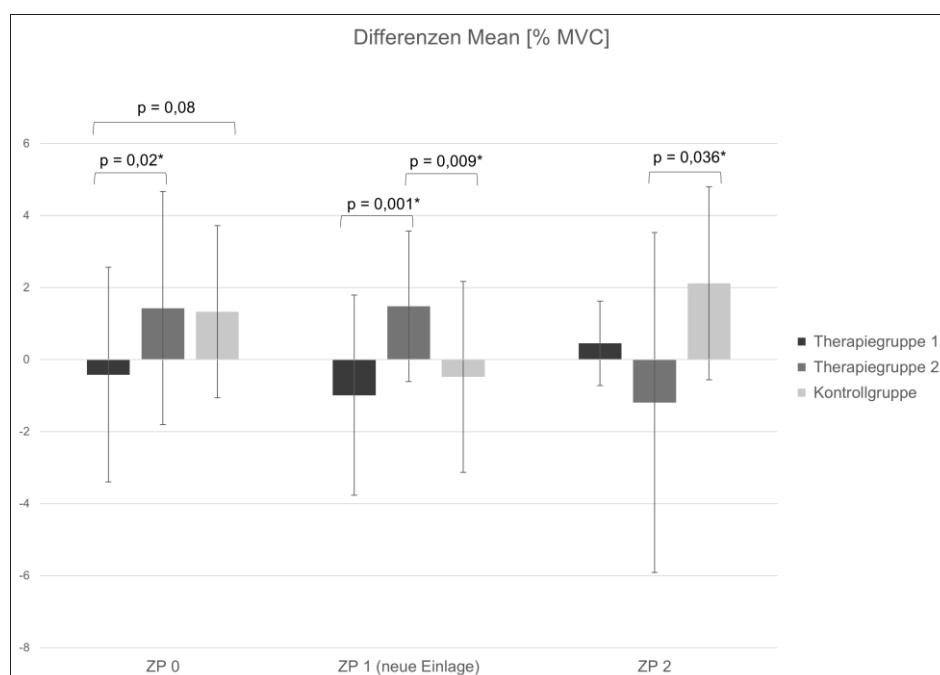


Abbildung 15: Vergleich der Differenzen des Mean des M. tibialis anterior der Messungen mit und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Messzeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten (Cross-over), ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten,

% MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

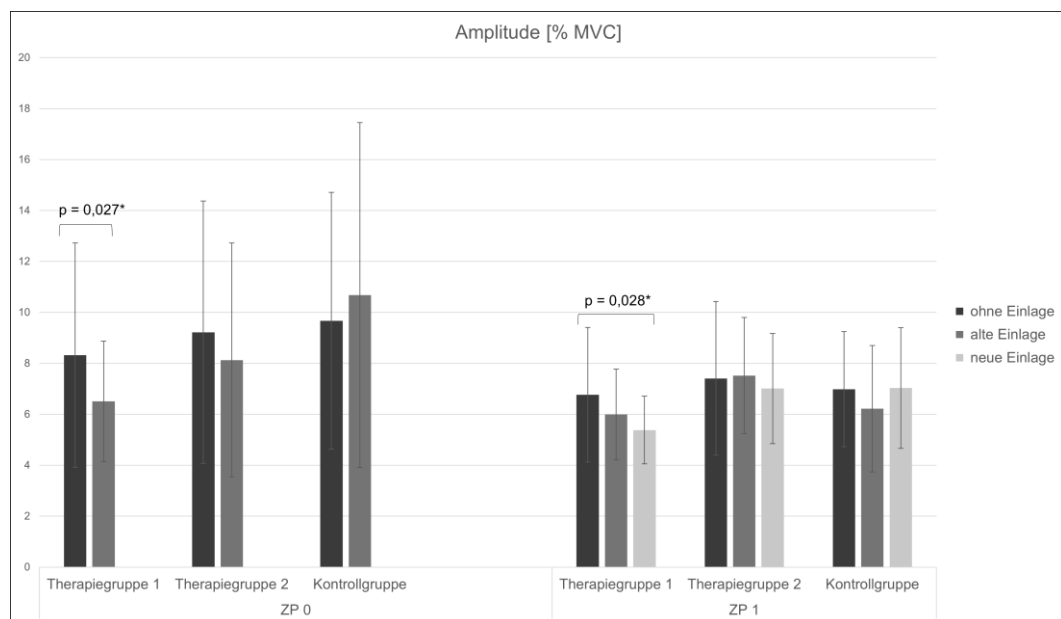


Abbildung 16: Vergleich der Amplitude des M. tibialis anterior der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten mit Cross-over, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8.1.4 Integral

Im Vergleich des Integrals konnte in allen Studiengruppen zu allen 3 Messzeitpunkten kein Unterschied zwischen den Messungen ohne und mit Einlagen festgestellt werden.

Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten war hinsichtlich der Differenzen des Integrals aus den Messungen mit den neuen Einlagen und ohne Einlagen in Therapiegruppe 2, welche nach Cross-over die stützende Einlage erhalten hatte, ein Anstieg der Muskelaktivierung durch die Einlage zu verzeichnen, während in Therapiegruppe 1 (sensomotorisch) und der Kontrollgruppe eine Verminderung zu beobachten war (Abbildung 17). Zu allen anderen Messzeitpunkten bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Studiengruppen.

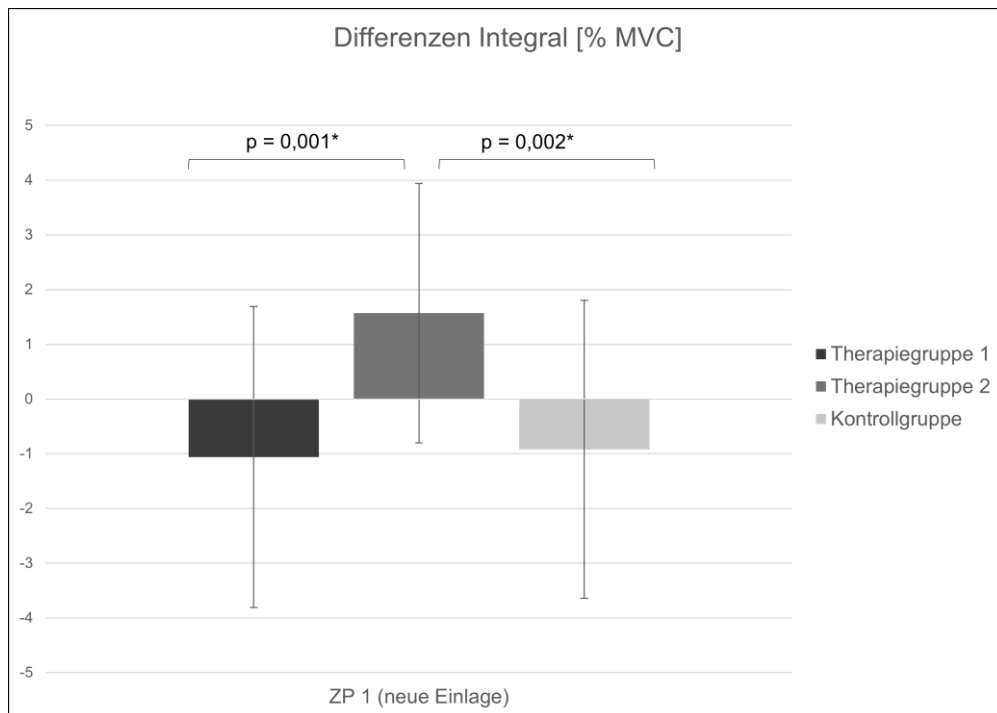


Abbildung 17: Vergleich der Differenzen des Integrals des M. tibialis anterior der Messungen mit neuen und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zu dem Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8.2 M. Peroneus longus

5.8.2.1 Maximum

Beim Vergleich des Maximums der Aktivierung des M. peroneus longus konnte sowohl zum Messzeitpunkt der Rekrutierung als auch nach 12 Monaten kein signifikanter Unterschied zwischen den Messungen ohne und mit Einlagen in allen drei Studiengruppen nachgewiesen werden.

Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten konnte bei Nutzung der neuen, sensomotorischen Einlage ein signifikanter Abfall der Muskelaktivität sowohl im Vergleich zur Messung ohne Einlage ($p = 0,047$) als auch zur Messung mit der alten, stützenden Einlage ($p = 0,011$) festgestellt werden (Tabelle 14). Die Messungen ohne Einlagen und mit den stützenden/korrigierenden Einlagen unterschieden sich nicht ($p = 1,000$). In der Gruppe mit den neuen, korrigierenden Einlagen und der Kontrollgruppe wurden keine Unterschiede beobachtet (Tabelle 14).

Im Vergleich der Differenzen der Messungen mit der neuen Einlage und ohne Einlage zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten führte die neue sensomotorische Einlage in Therapiegruppe 1 zu einem Abfall der Muskelaktivität. Dies unterschied sich signifikant zur Kontrollgruppe ($p = 0,013$). Zur Gruppe, welche die neuen stützenden Einlagen erhalten hatte, zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p = 0,156$). In Therapiegruppe 2 mit den neuen korrigierenden Einlagen und der Kontrollgruppe wurde ein vergleichbarer Anstieg des Maximums der Muskelaktivität festgestellt ($p = 0,984$) (Abbildung 18). Zu allen anderen Zeitpunkten bestand ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den Studiengruppen.

Maximum					
	Mittelwert $\pm$ SD [% MVC]			n	p-Wert
ZP 1	ohne Einlage	alte Einlage	neue Einlage		
Therapiegruppe 1	43,86 $\pm$ 18,83	42,19 $\pm$ 18,62	39,02 $\pm$ 16,83	23	0,033*
Therapiegruppe 2	46,52 $\pm$ 12,51	47,55 $\pm$ 16,44	47,39 $\pm$ 16,67	23	0,901
Kontrollgruppe	50,41 $\pm$ 19,70	49,10 $\pm$ 20,76	42,46 $\pm$ 22,93	28	0,059

Tabelle 14: Vergleich des Maximums des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten,

ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, SD = Standardabweichung, %

MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, n = Stichprobengröße,

p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8.2.2 Mean

Hinsichtlich des Parameter Mean war zum Zeitpunkt der Rekrutierung in der Gruppe 1 mit den stützenden/korrigierenden Einlagen ein signifikanter Abfall der Muskelaktivität zwischen der Messung ohne und mit Einlage nachzuweisen ($p = 0,013$) (Abbildung 19). In der Therapiegruppe 2 konnte kein signifikanter Unterschied, aber eine tendenzielle Verringerung der Muskelaktivierung beobachtet werden ($p = 0,096$), die Kontrollgruppe zeigte keinen Unterschied ($p = 0,21$) (Abbildung 19). Zu den Messzeitpunkten nach 6 und nach 12 Monaten bestanden keine Unterschiede in allen 3 Studiengruppen.

Im Vergleich zwischen den Studiengruppen bezüglich der Differenzen der Messungen mit der neuen Einlage und ohne Einlage zum Messzeitpunkt nach

6 Monaten kam es in Therapiegruppe 1 (sensomotorische Einlage) zu einem Abfall der Muskelaktivität, während es in der Therapiegruppe 2 und der Kontrollgruppe zu einem tendenziellen Anstieg kam (Abbildung 20).

Zu allen anderen Messzeitpunkten bestanden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

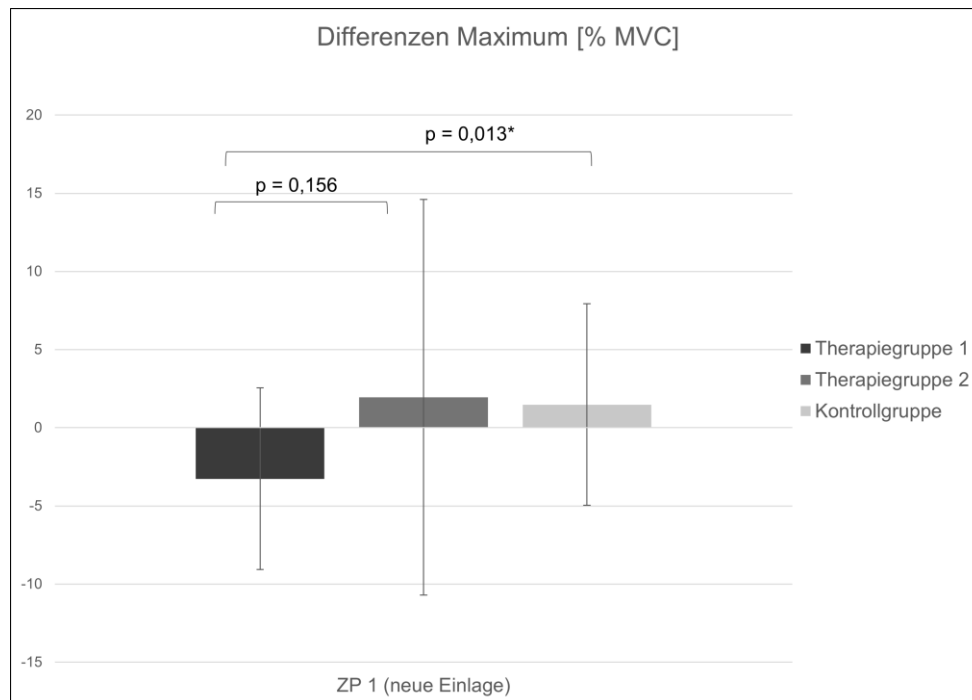


Abbildung 18: Vergleich der Differenzen des Maximums des M. peroneus longus der Messungen mit den neuen und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8.2.3 Amplitude

Im Vergleich der Amplituden konnte zum Zeitpunkt der Rekrutierung kein signifikanter Unterschied in allen Studiengruppen zwischen den Messungen ohne und mit Einlagen nachgewiesen werden.

Zum Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten führte in Therapiegruppe 1 die neue, sensomotorische Einlage zu einer signifikant verminderten Aktivierung im Vergleich zur alten, korrigierenden Einlage ($p = 0,025$) und zur Messung ohne Einlage ($p = 0,019$) (Abbildung 21). Zwischen den Messungen ohne Einlage und mit der alten, stützenden Einlage gab es keinen signifikanten Unterschied in der Muskelaktivierung ($p = 1,000$) (Abbildung 21). Zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten kam es in Therapiegruppe 1 zu einer signifikant gesteigerten

Muskelaktivierung durch die sensomotorische Einlage im Vergleich zur Messung ohne Einlage ($p = 0,013$) (Abbildung 21). In Therapiegruppe 2 mit der stützenden Einlage und der Kontrollgruppe gab es keine signifikante Änderung (Abbildung 21).

Im Vergleich der Differenzen bestand zu allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Studiengruppen.

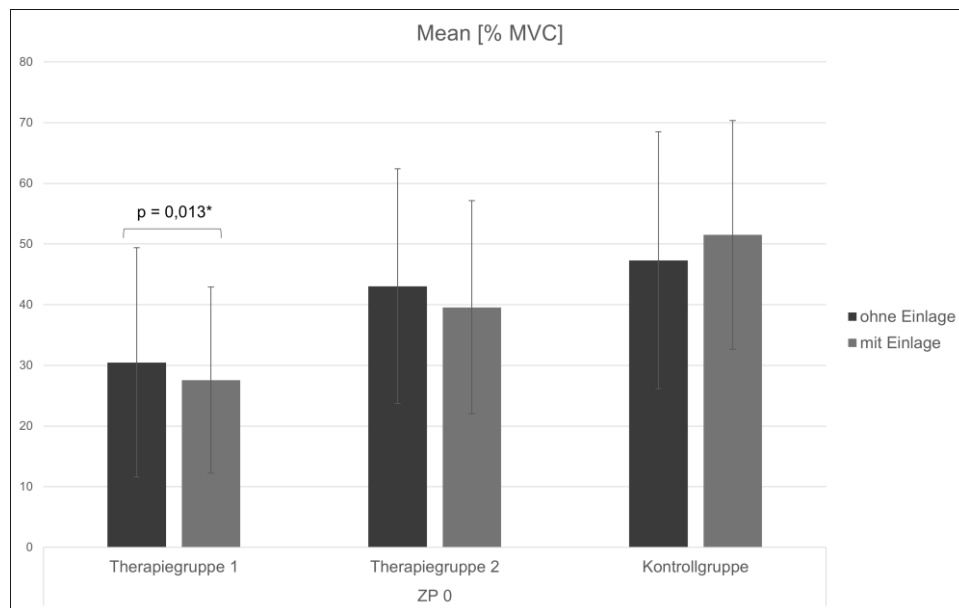


Abbildung 19: Vergleich des Mean des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 0 = Messzeitpunkt der Rekrutierung, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

5.8.2.4 Integral

Hinsichtlich des Parameters Integral konnte zum Zeitpunkt der Rekrutierung kein signifikanter Unterschied in allen Studiengruppen zwischen den Messungen ohne und mit Einlagen dargestellt werden. Es bestand lediglich in Therapiegruppe 1, welche die stützende/korrigierende Einlage erhalten hatte, eine tendenzielle Verringerung des Integrals in der Messung mit der Einlage im Vergleich zur Messung ohne Einlage (Tabelle 15).

Zu den Messzeitpunkten nach 6 und 12 Monaten bestanden in allen Studiengruppen keine Unterschiede zwischen den Messungen ohne und mit Einlagen.

Im Vergleich der Differenzen des Integrals aus den Messungen mit und ohne Einlage konnte sowohl zwischen den Studiengruppen zu allen 3 Messzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede entdeckt werden.

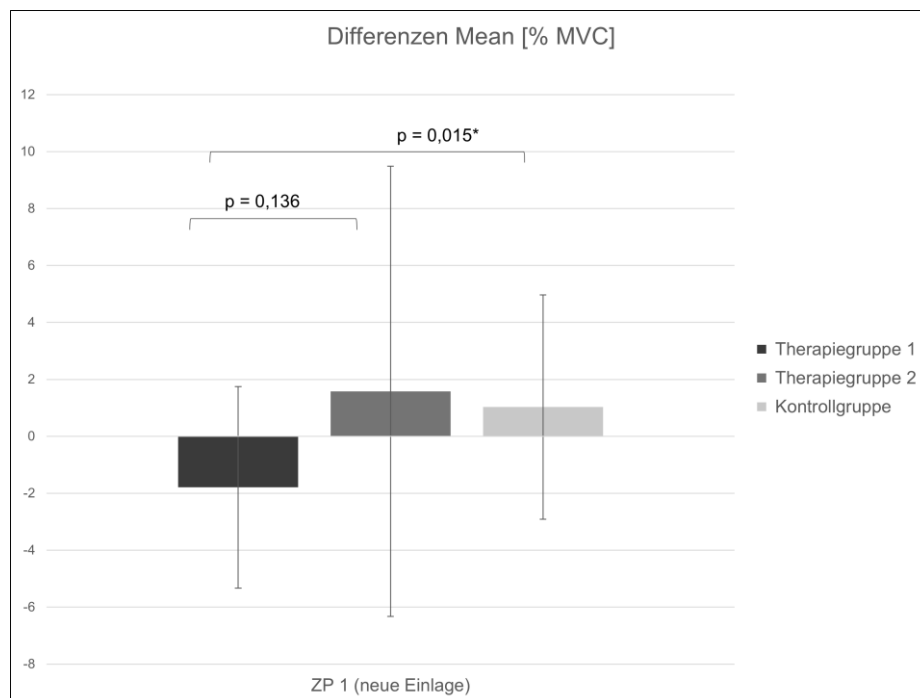


Abbildung 20: Vergleich der Differenzen des Mean des M. peroneus longus der Messungen mit den neuen und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

Integral				
	Mittelwert $\pm$ SD [% MVC]		n	p-Wert
ZP 0	Ohne Einlage ZP 0	Mit Einlage ZP 0		
Therapiegruppe 1	42,50 $\pm$ 15,53	39,42 $\pm$ 12,92	42	0,05
Therapiegruppe 2	40,33 $\pm$ 11,36	37,79 $\pm$ 12,98	39	0,075
Kontrollgruppe	43,45 $\pm$ 12,80	44,14 $\pm$ 8,92	24	0,699

Tabelle 15: Vergleich des Integrals des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, SD = Standardabweichung, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, n = Stichprobengröße, p- Wert = Signifikanzniveau.

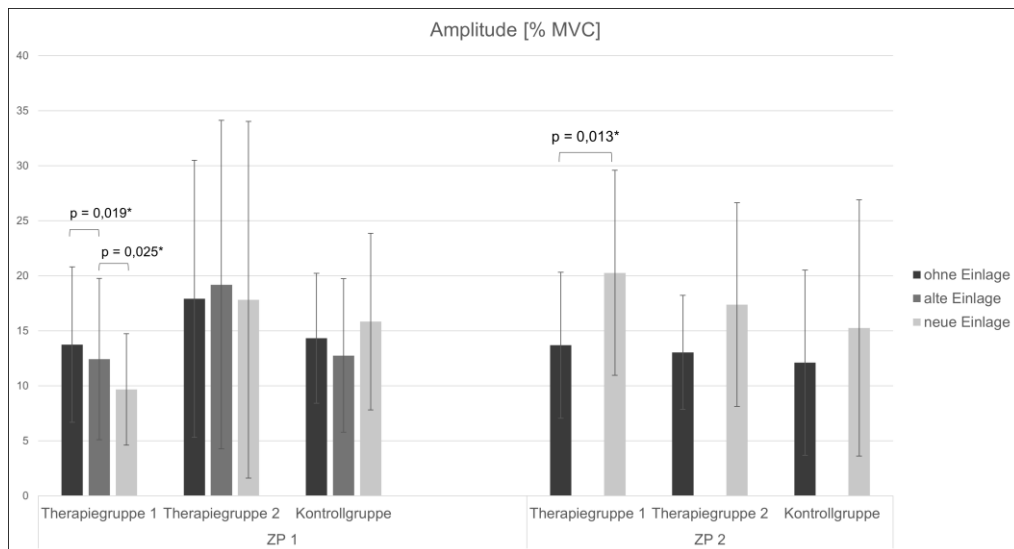


Abbildung 21: Vergleich der Amplitude des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Messzeitpunkt nach 6 und nach 12 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.

6 Diskussion

6.1 Valgus Index und Valgus Score

Der Valgus Index dient der Beurteilung der Rückfußstellung und bietet ein prozentuales Maß der Verschiebung der Rückfußachse [36]. Li et al. konnten in ihrer retrospektiven Studie über einen Beobachtungszeitraum von 2 Jahren eine Verbesserung des Valgus Index durch die Therapie mit stützenden Einlagen feststellen [40]. In dieser Studie wurden Kinder mit einem symptomatischen Knicksenkfuß ab einem Alter von 6 Jahren untersucht.

In dieser Arbeit konnte eine Zunahme des Valgus Index in der Kontrollgruppe nach 6 Monaten nachgewiesen werden. Dies spricht am ehesten für eine Progredienz des Knicksenkfußes. In beiden Therapiegruppen konnte nach 6 und nach 12 Monaten kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Valgus Index gezeigt werden. Beide Einlagentypen könnten somit eine Progredienz des Knicksenkfußes verhindern. Der Nachbeobachtungszeitraum betrug allerdings nur 12 Monate, sodass Langzeiteffekte nicht ausreichend beurteilt werden können.

Dars et al. berichteten in ihrer systemischen Übersichtsarbeit, dass die Ruhestellung des Fersenbeins durch die Verwendung von Einlagen verbessert wird. Hinsichtlich des Valgus Index und Fußabdruck Index konnten nur Tendenzen zur Verringerung der Indices aber keine signifikanten Veränderungen gefunden werden [41]. Auch Kirmizi et al. untersuchten die Auswirkungen der konservativen Therapien auf die Fußstellung bei Probanden mit Knicksenkfuß [42]. Anders als in der vorliegenden Arbeit handelte es sich um erwachsene Patienten und alle Studiengruppen erhielten eine Intervention. Eine Gruppe führte dreimal wöchentlich Übungen zur Kräftigung der kurzen Fußmuskulatur durch, Gruppe 2 erhielt stützende Einlagen und Gruppe 3 erhielt beide Interventionen. Eine Kontrollgruppe gab es nicht. Die Nachbeobachtungszeit betrug hier anders als in der vorliegenden Arbeit 12 Wochen. Kirmizi konnte in allen Studiengruppen eine Verbesserung der Fußstellung hinsichtlich des Navicular drop und des Foot posture index 6 nachweisen. Je nach Parameter war die Gruppe, welche die Übungen

durchgeführt hatte, und die Studiengruppe, welche beide Interventionen erhalten hatte, überlegen. Ähnlich wie in dieser Studie konnte im genannten Nachbeobachtungszeitraum keine Veränderung des Valgus Index aufgezeigt werden [42].

Hinsichtlich des Valgus Scores konnte in unserer Studie eine Abnahme zwischen beiden Messzeitpunkten durch die Therapie mit der stützenden Einlage in Gruppe 1 verzeichnet werden. Auch dies stützt die These, dass eine Verbesserung des Knicksenkfußes durch eine Einlagentherapie möglich ist.

Um langfristige Auswirkungen der konservativen Therapie auf den Valgus Index und damit die Fußstellung sowie die Aufrichtung des medialen Längsgewölbes abzubilden, wäre eine längere Nachbeobachtungszeit vermutlich bis zum Ende des Wachstums notwendig.

6.2 Foot and ankle disability Index (FADI)

Der Foot and ankle disability Index (FADI) ist ein sensibles Maß für Funktionsstörungen des Sprunggelenkes und des Fußes [37].

Schmitt et al. konnten in einer Untersuchung an erwachsenen Patienten mit Knicksenkfüßen einen Anstieg des FADI jeweils nach 6 und nach 12 Monaten Nachbeobachtungszeit sowohl durch die Verwendung sensomotorischer als auch stützender Einlagen in Kombination mit einem Hausübungsprogramm nachweisen [43]. Die Kontrollgruppe, die nur die Hausübungen durchgeführt und eine Placeboeinlage erhalten hatte, zeigte einen Anstieg erst nach 12 Monaten Nachbeobachtungszeit [43].

In dieser Arbeit konnte durch Therapie mit sensomotorischen Einlagen ein signifikanter Anstieg des FADI zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und der Kontrolle nach 6 Monaten festgestellt werden. Dies spricht für eine subjektive Verbesserung der Fußfunktion. Nach Erhalt der stützenden Einlage nach Cross-over konnte in der Therapiegruppe 2 keine signifikante Änderung des FADI beobachtet werden. In der Kontrollgruppe konnte zwischen dem Messzeitpunkt nach 6 Monaten und nach 12 Monaten eine Tendenz mit Verringerung des FADI nachgewiesen werden. Dies spricht für eine subjektive Verschlechterung der Fußfunktion, welche durch eine mögliche Progredienz des Knicksenkfußes erklärt werden könnte, was durch den ansteigenden

Valgus Index in der Kontrollgruppe untermauert wird. Allerdings ist das Ausmaß von weniger als 1% sehr gering und klinisch kaum relevant.

Anders als in der Studie von Schmitt et al. wurden in dieser Arbeit Kinder mit symptomatischem und asymptomatischem Knicksenkfuß untersucht. Dies könnte die Unterschiede der Ergebnisse erklären. Weiterhin könnten die sensomotorischen Einlagen bei Kindern eine schnellere Wirksamkeit hinsichtlich der Fußfunktion haben als die stützende Einlage. In der Studie von Schmitt et al. fand zwischen den Beobachtungszeitpunkten kein Cross-over statt, sodass eine längere Therapiezeit untersucht werden konnte.

Bisher wurden keine Studien durchgeführt, welche den Einfluss auf die subjektive Funktion des Fußes und Sprunggelenkes beim kindlichen Knicksenkfuß analysieren. Es erfolgte vorwiegend eine Betrachtung von Schmerzen.

6.3 Schmerzintensität

Andere Autoren konnten eine signifikante Verringerung des Schmerzniveaus bei Kindern mit Knicksenkfuß durch Versorgung mit einer stützenden Einlage nach einem und nach 3 Monaten nachweisen [44]. Dabei wurden Kinder mit einem Alter von mehr als 6 Jahren mit einem symptomatischen Knicksenkfuß eingeschlossen. Es erfolgte keine Randomisierung oder Placebo-Kontrolle und der Nachbeobachtungszeitraum betrug lediglich 3 Monate [44], sodass ein Langzeiteffekt auf die Schmerzintensität nicht beurteilt werden konnte.

Hinsichtlich der Schmerzintensität konnte in der hier vorliegenden Arbeit nach Versorgung mit der stützenden Einlage nach Cross-over eine signifikante Verbesserung der Schmerzintensität nachgewiesen werden. Der Effekt zeigte sich im Vergleich zwischen den Gruppen zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten zwischen der Kontrollgruppe und der Therapiegruppe 2 (stützende Einlage nach Cross-over). Hieraus kann abgeleitet werden, dass die stützenden Einlagen zur Verbesserung des Schmerzes bei kindlichem Knicksenkfuß beitragen könnten. Allerdings war in allen Gruppen lediglich eine geringe Schmerzausprägung vor Intervention vorhanden, sodass eine signifikante Verminderung eher nicht zu erwarten war und in zukünftigen Untersuchungen

bei Kindern zu dieser Problematik generell die Schmerzsymptomatik als relevantes patientenbezogenes Ergebnis kritisch hinterfragt werden sollte. Allerdings fanden andere Autoren einen positiven Einfluss von stützenden Einlagen auf die Schmerzintensität bei Kindern mit symptomatischen Knicksenkfuß über einen Nachbeobachtungszeitraum von 2 Jahren [40]. Die Schmerzintensität wurde ähnlich wie in dieser Arbeit auf einer visuellen Analogskala erfasst, zusätzlich wurde aber auch die Schmerzhäufigkeit dokumentiert [40]. Die Untersuchung erfolgte aber retrospektiv und die Kinder wurden ausschließlich mit einer stützenden Einlage versorgt.

6.4 Auflagefläche und Schuhgröße

Ab dem 5. Lebensjahr wächst der kindliche Fuß im Durchschnitt 0,9 cm im Jahr, bei Mädchen etwa bis zum 12. Lebensjahr, bei Jungen bis zum 14. Lebensjahr [15]. Da die Kinder aller Studiengruppen im Durchschnitt unter 12 Jahren alt waren, war zu erwarten, dass die Schuhgröße in allen Studiengruppen zunimmt. Dies konnte bestätigt werden.

Als möglicher Parameter für die Aufrichtung der Längswölbung wurden sowohl die statische als auch die dynamische Auflagefläche im Barfußgang erfasst. In der Kontrollgruppe zeigte sich ein signifikanter Anstieg der statischen Auflagefläche zwischen der Messung nach 6 Monaten und nach 12 Monaten. Da die Kinder aller Studiengruppen im Durchschnitt deutlich unter 12 Jahre alt waren und die Schuhgrößen in allen Studiengruppen zugenommen haben, wäre zu erwarten gewesen, dass die statische Auflagefläche in allen Gruppen gleichermaßen zunimmt. Da das Wachstum nicht linear verläuft, könnte es hier zu einer unterschiedlichen absoluten Zunahme der statischen Auflagefläche zwischen den verschiedenen Gruppen gekommen sein.

Im Vergleich der Differenzen aus den Messungen vor und nach Intervention konnte jedoch sowohl vor als auch nach Cross-over kein Unterschied zwischen den drei Studiengruppen hinsichtlich der Zunahme der statischen Auflagefläche nachgewiesen werden. Dies spricht am ehesten für eine vergleichbare relative Zunahme der statischen Auflagefläche bei unterschiedlicher Ausgangsgröße der Füße. Hinsichtlich der dynamischen Auflagefläche zeigte sich in allen Studiengruppen sowohl zwischen dem

Zeitpunkt der Rekrutierung und der Messung nach 6 Monaten als auch zwischen den Messungen nach 6 Monaten und nach 12 Monaten ein signifikanter Anstieg der dynamischen Auflagefläche. Nur in der nach Cross-over mit den sensomotorischen Einlagen versorgten Studiengruppe 1 konnte kein Anstieg der dynamischen Auflagefläche nachgewiesen werden.

Im Vergleich der Differenzen der dynamischen Auflagefläche zwischen dem Messzeitpunkt der Rekrutierung und der Messung nach 6 Monaten bestand zwischen allen Studiengruppen kein signifikanter Unterschied, hier stieg die Auflagefläche in allen drei Gruppen vergleichbar an. Betrachtet man die Differenzen aus den Messungen nach 6 und nach 12 Monaten, war in der Gruppe, welche die stützende Einlage erhalten hatte, und der Kontrollgruppe ebenfalls ein Anstieg zu verzeichnen. Nur die Gruppe, welche die sensomotorische Einlage erhalten hatte, unterschied sich signifikant zu den beiden anderen Gruppen und wies keinen Anstieg der dynamischen Auflagefläche auf. Denkbar wäre eine Aufrichtung des medialen Längsgewölbes und somit eine konstant bleibende Auflagefläche trotz wachsenden Fußes nach durchgeführter Therapie.

Die statische Auflagefläche wurde jeweils drei Mal für mehrere Sekunden im Stand aufgezeichnet, hieraus wurde ein Mittelwert gebildet. Trotz aller Sorgfalt in der Durchführung der Messung kann es hier leicht zu Abweichungen der tatsächlichen Auflagefläche aufgrund von natürlichen Schwankungen im Stand und der variierenden Standbreite kommen.

Für die dynamische maximale Auflagefläche wurde ein Mittelwert aus Messung von sieben Doppelschritten in der mittleren Standphase gebildet. Aufgrund der höheren Anzahl der Messungen könnten Messabweichungen besser korrigiert werden.

Studien, in denen die Auflagefläche in der mittleren Standphase verglichen wurde, wurden bisher nicht veröffentlicht. Dies ist nicht verwunderlich, da ein Vergleich über einen längeren Messzeitraum bei Kindern aufgrund des Wachstums nur schwer möglich ist. Unter Berücksichtigung von Bezugsgrößen, wie z.B. Schuh- oder Körpergröße, kann aber ein Anhalt für die Entwicklung des Fußes gewonnen werden.

Li et al. konnten in ihrer Studie eine Verkleinerung der Auflagefläche des mittleren Fußdrittels in Relation zur gesamten Fußabdruckfläche nachweisen.

Sie verwendeten in ihrer retrospektiven Studie zum Vergleich der Aufrichtung des medialen Längsgewölbes den Arch Index [40], bei dem die Auflagefläche des mittleren Fußdrittels (in Bezug zur Gesamtlänge) prozentual zur gesamten Auflagefläche bestimmt wird [45]. 2 Jahre nach Therapiebeginn konnte eine signifikante Abnahme des Arch Index in der gesamten Kohorte nachgewiesen werden. Dabei zeigte sich eine Abnahme des Index sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen und bei normalgewichtigen Kindern und Kindern mit Übergewicht [40]. Anders als in der vorgelegten Arbeit wurden nur stützende Einlagen verwendet, die Nachbeobachtungszeit betrug hier insgesamt 2 Jahre.

Beim wachsenden Kind erscheinen sowohl die statische als auch dynamische Auflagefläche aufgrund der stark differierenden Absolutwerte und des unterschiedlichen Wachstums nur eingeschränkt geeignete Parameter für die Darstellung des Ausmaßes des Therapieerfolges zu sein.

6.5 Studiengruppen

Die Patienten in dieser Arbeit waren überwiegend männlich. Da der Knicksenkfuß bei Jungen häufiger auftritt [5], ist dies erklärbar. Die Geschlechterverteilung unterschied sich zwischen den drei Studiengruppen nicht.

Die Probanden der Studiengruppe 1 waren im Durchschnitt aber signifikant älter. In Vorarbeiten wurde eine nicht linear abnehmende Prävalenz des Knicksenkfußes bei Kindern mit zunehmendem Alter ohne weitere Therapie nachgewiesen [3]. Untersuchungen zum Einfluss des Alters des Kindes bei Beginn der konservativen Therapie auf die Entwicklung des Knicksenkfußes wurden bisher nicht veröffentlicht.

Die Probanden der Studiengruppe 1 wiesen weiterhin eine im Durchschnitt größere Schuhgröße auf, die aufgrund des durchschnittlich höheren Alters mit dem Stand des Wachstums zu erklären ist.

Größe, Gewicht und BMI der Kinder waren zwischen den Studiengruppen jedoch vergleichbar.

Da alle Einlagen ausschließlich von einem Orthopädietechniker gefertigt wurden, können interindividuelle Unterschiede in der Bauweise innerhalb der Studiengruppen fast nahezu vollständig ausgeschlossen werden.

6.6 Tragedauer und Hausübungsprogramm

Im Vergleich zur Kontrollgruppe war die Tragedauer der Einlagen in der sensomotorischen Studiengruppe zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten signifikant geringer. Die Tragedauer wurde subjektiv von den Probanden bzw. den Eltern geschätzt. Es wurde keine objektive Messung der Tragedauer durch z.B. Drucksensoren durchgeführt, was die Aussagekraft sowohl hinsichtlich der tatsächlichen Tragedauer, aber auch hinsichtlich des therapeutischen Effekts beeinträchtigt, da die Tragedauer den Therapieerfolg einer Therapie mit Einlagen beeinflusst [46]. Gründe für eine kürzere Tragedauer der Einlagen wurden nicht erfasst. Ob eine tägliche Mindesttragedauer notwendig ist, um einen signifikanten Effekt der Einlage zu erreichen, ist nicht bekannt. Nach dem Cross-over in den Therapiegruppen 1 und 2 kam es zu keiner Änderung der Tragezeit in beiden Studiengruppen, sodass man nicht von einem Einfluss z.B. des Tragekomforts einer spezifischen Einlage ausgehen kann.

Fußübungen wurden als durchaus adäquate Behandlungsmethode bei symptomatischem Knicksenkfuß beschrieben [42]. Die Häufigkeit der Durchführung des Hausübungsprogrammes unterschied sich zwischen den drei Studiengruppen nicht. Man kann daher davon ausgehen, dass der Einfluss des Trainingsprogramms auf alle Gruppen gleich gewirkt hat. Bei Erwachsenen konnte dargestellt werden, dass Fußmuskelübungen bei zusätzlicher Nutzung sensomotorischer Einlagen schneller einen Therapieerfolg erreichen als ohne Nutzung von sensomotorischen Einlagen oder bei Nutzung stützender Einlagen [43].

6.7 Elektromyographie

Sensomotorische Einlagen sollen durch individuell angebrachte Pelotten einen Stimulus auf die Muskelspindelafferenzen setzen und somit über den

Alphamotoneuronreflex zu einer Steigerung der Muskelaktivität führen [32]. Dadurch soll es zu einer aktiven Aufrichtung der Längswölbung beim Knicksenkfuß kommen. In einer Studie mit erwachsenen Probanden konnten Ludwig et al. eine Zunahme der Muskelaktivität des M. peroneus longus im Sinne eines zusätzlichen Peaks in der mittleren Standphase durch sensomotorische Einlagen nachweisen [33]. Hierfür wurde eine doppelblinde, randomisierte Studie mit einem Cross-over Design durchgeführt, alle Probanden erhielten sowohl die sensomotorische als auch die Placebo-Einlage. Die Messungen erfolgten alle ausschließlich zu einem Messzeitpunkt [33].

Im Gegensatz dazu soll es durch stützende/korrigierende Einlagen zu einer passiven Korrektur des Fußgewölbes ohne Beeinflussung der Muskelaktivität kommen. Hier wird eine Abschwächung der Muskelaktivität durch die passive Stütze diskutiert [26, 32].

In dieser Arbeit wurden sowohl stützende/korrigierende als auch sensomotorische Einlagen in einem Cross-over Modell mit einer Placeboeinlage verglichen. Weiterhin erfolgte eine Beobachtung über je 6 Monate.

Zum Zeitpunkt der Rekrutierung führte die stützende Einlage zu einem signifikanten Abfall der Muskelaktivität des M. peroneus longus hinsichtlich des Parameter Mean. Für den Parameter Integral konnte ebenfalls ein tendenzieller Abfall nachgewiesen werden. Dies stützt die These, dass eine passive Aufrichtung der Längswölbung zu einer verminderten Muskelaktivität führen könnte [32]. Durch die sensomotorische Einlage wurde ebenfalls ein tendenzieller Abfall der Muskelaktivität im Parameter Mean und Integral nachgewiesen. Neben den aktivierenden Pelotten hat die sensomotorische Einlage ebenfalls stützende Komponenten enthalten und könnte somit zu einem initialen Abfall der Muskelaktivität führen.

Zu den Messzeitpunkten nach 6 und nach 12 Monaten wurden für den Parameter Mean keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten führte in Therapiegruppe 1 die alte, stützende Einlage zu keinem signifikanten Unterschied im Vergleich zur Messung ohne Einlage. Dies spricht dafür, dass Einlagen nach einer gewissen Tragedauer einer Erneuerung bedürfen, da der Effekt nicht mehr nachweisbar

erscheint. Die neue, sensomotorische Einlage bewirkte einen signifikanten Abfall der Amplitude und des Maximums im Vergleich zur Messung ohne Einlage und zur alten, korrigierenden Einlage. Zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten konnte in dieser Gruppe durch die sensomotorische Einlage ein signifikanter Anstieg der Muskelaktivität im Parameter Amplitude nachgewiesen werden. Daraus kann geschlossen werden, dass die sensomotorische Einlage durch stützende Elemente einen kurzfristigen Abfall der Muskelaktivität bewirkt, in der Langzeitwirkung aber eine Muskelaktivierung induzieren kann. In der Gruppe 2 führte die neue stützende Einlage nach 6 Monaten zu keiner Änderung der Amplitude, nach 12 Monaten konnte ein Anstieg der Muskelaktivität beobachtet werden, der allerdings nicht signifikant war. Die sensomotorische Einlage könnte also ein höheres Potenzial der Muskelaktivierung haben.

Anders als in der Untersuchung von Ludwig et al. wurden in dieser Arbeit Kinder mit flexiblem Knicksenkfuß untersucht und eine Intervention wurde durchgeführt. Dies könnte auch Unterschiede in der Muskelaktivierung des M. peroneus longus erklären, da Ludwig et al. ausschließlich gesunde erwachsene Probanden untersuchten [33] und die Patienten mit Fußdeformität eine veränderte Muskelaktivität im Vergleich zu Probanden ohne Fußdeformität aufweisen [47].

Murley et al. untersuchten in ihrer prospektiven Studie die Unterschiede der Muskelaktivierung bei Patienten mit Knicksenkfuß im Vergleich zum normal gewölbten Fuß. Hier konnte eine signifikante Reduktion der Muskelaktivität des M. peroneus longus beim Knicksenkfuß nachgewiesen werden [47]. Die Unterschiede in der basalen Muskelaktivität von Patienten mit Knicksenkfuß im Vergleich zu Gesunden könnten die unterschiedlichen Ergebnisse im Vergleich zu anderen Autoren erklären. In ihrer prospektiven Studie konnten Murley et al. eine erhöhte Aktivität des M. tibialis anterior und des M. tibialis posterior in der mittleren Standphase beim Patienten mit Knicksenkfuß im Vergleich zum Probanden mit normal gewölbtem Fuß nachweisen [47]. Dies wurde durch eine Überlastung des medialen Längsgewölbes mit einer anschließenden kompensatorischen Belastungsänderung erklärt [47].

Hinsichtlich des M. tibialis anterior wurde in unserer Studie zum Zeitpunkt der Rekrutierung ein signifikanter Abfall der Amplitude durch die stützende Einlage

nachgewiesen. Durch die passive Korrektur könnte es hier zu einer Normalisierung des Aktivitätsmusters und zur Entlastung des M. tibialis anterior kommen. Auch die sensomotorische Einlage bewirkte einen nicht signifikanten Abfall der Aktivität.

Zum Zeitpunkt nach 6 Monaten konnte ein erneuter Abfall der Aktivität des M. tibialis anterior für den Parameter Amplitude durch die neue sensomotorische Einlage nachgewiesen werden. Die neue stützende Einlage und die Placeboeinlage zeigten keinen Effekt. Hier wäre zu erwarten gewesen, dass auch die neue, korrigierende Einlage durch die passive Aufrichtung eine Verminderung der Aktivität des M. tibialis anterior induziert.

Im Vergleich der Differenzen zwischen den Studiengruppen kam es zum Zeitpunkt der Rekrutierung durch die stützende Einlage sowohl im Parameter Maximum als auch Mean zu einer Verminderung der Aktivität, während die Kontrollgruppe eher einen Anstieg aufwies. Auch dies stützt die Vermutung, dass die stützende Einlage den medialen Pfeiler entlastet, während dies bei der Placeboeinlage nicht der Fall ist. Die sensomotorische Einlage führte zu diesem Zeitpunkt zu einer Verminderung des Maximums der Muskelaktivität, gleichzeitig aber zu einer Steigerung des Mean. Dies lässt vermuten, dass die sensomotorische Einlage zu einer insgesamt gesteigerten, aber gleichmäßiger verteilten Kraftentwicklung führt.

Zum Zeitpunkt nach 6 Monaten bestanden keine Unterschiede in den Messungen mit den alten Einlagen. Die neue sensomotorische Einlage führte im Vergleich zwischen den Studiengruppen zu einer Verminderung der Aktivität des M. tibialis anterior hinsichtlich der Parameter Maximum, Mean und Integral. Die Placebogruppe zeigte hinsichtlich dieser Parameter nur gering ausgeprägte Unterschiede. Die stützende Einlage hingegen führte im Hinblick auf alle drei Parameter zu einer Aktivierung des M. tibialis anterior. Dies lässt vermuten, dass auch die korrigierende Einlage das Potenzial hat die Muskelaktivität zu beeinflussen.

Zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten führte hinsichtlich des Parameters Mean die stützende Einlage jedoch zu einer Verminderung der Muskelaktivität, während die sensomotorische Einlage und die Placeboeinlage eine Erhöhung induzierten. Die stützende Einlage könnte also eher einen kurzfristigen Effekt

auf die Muskelaktivierung haben, während die sensomotorische Einlage eher einen langfristigen Effekt haben könnte.

Murley et al. untersuchten in ihrer Studie an 30 jungen, erwachsenen Probanden mit asymptomatischem Knicksenkfuß den Einfluss von zwei verschiedenen Einlagen auf die Muskelaktivität der Unterschenkelmuskulatur [30]. Dabei wurden der M. tibialis anterior und der mediale Kopf des M. gastrocnemius mittels Oberflächenelektromyographie sowie der M. tibialis posterior und der M. peroneus longus mittels Feinnadelektromyographie beobachtet. Anders als in der vorliegenden Arbeit wurde bei allen Probanden eine Messung barfuß, im Schuh und im Schuh mit jeweils der modifizierten, vorgefertigten Einlage und einer individuell angefertigten Einlage durchgeführt. Da in unserer Studie gleichzeitig eine Therapie eingeleitet wurde, erhielt jeder Proband zunächst nur einen Einlagentyp, mit dem die Messung durchgeführt wurde. Murley et al. konnten eine Änderung der Muskelaktivierung des M. tibialis posterior und des M. peroneus longus durch beide Einlagen nachweisen [30]. In unserer Studie kam es durch Verwendung beider Einlagentypen eher zu einer Reduktion der Aktivität des M. tibialis anterior und des M. peroneus longus, während Murley et al. einen Anstieg der Aktivität des M. peroneus longus beobachteten. Dies könnte an den unterschiedlichen Einlagentypen liegen, welche in den verschiedenen Studien verwendet wurden. Ob die Muskelaktivität bei Kindern durch das Tragen von Einlagen in gleichem Maße beeinflusst wird wie bei Erwachsenen, ist bisher nicht bekannt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Oberflächenelektromyographie des M. tibialis anterior sowie des M. peroneus longus durchgeführt. Beide Muskeln sind an der Aufrichtung des medialen Längsgewölbes beteiligt und haben somit einen Einfluss auf die Fußstellung [14]. Ein weiterer wichtiger Stabilisator des medialen Längsgewölbes ist der M. tibialis posterior [12]. Da dieser durch eine Oberflächenelektromyographie nur schwer zu erreichen ist, wurde er trotz seiner Bedeutung für die Pathologie des Knicksenkfußes für die vorliegende Arbeit nicht berücksichtigt. Dies stellt eine Einschränkung der Studie dar.

Kulig et al. untersuchten in einer prospektiven Studie an 6 erwachsenen Probanden mit asymptomatischem Knicksenkfuß den Einfluss von Schuhwerk mit stützenden Einlagen auf die Aktivierung des M. tibialis posterior [48]. Sie

konnten dabei nachweisen, dass das Tragen der stützenden Einlagen zu einer selektiven Aktivierung des M. tibialis posterior führte. Anders als in unserer Studie erfolgte die Auswertung der Muskelaktivierung mittels MRT, welches vor und nach Durchführung der Übungen erstellt wurde [48]. Die Messungen erfolgten nur barfuß und im Schuh mit Einlagen zu verschiedenen Messzeitpunkten, auf eine Messung im Schuh ohne Einlage wurde verzichtet. Ebenso erfolgte keine Langzeitbeobachtung der Effekte der stützenden Einlage nach durchgeführter Therapie.

In einer prospektiven Studie untersuchten Barn et al. ebenfalls die Effekte von individuell angepassten Einlagen auf die Aktivität der Unterschenkelmuskulatur an 10 erwachsenen Patienten mit einem symptomatischen Knicksenkfuß und rheumatoider Arthritis [49]. Hierfür wurde eine Oberflächenelektromyographie des M. tibialis anterior, des M. peroneus longus, des medialen M. gastrocnemius und des M. soleus abgeleitet, zusätzlich wurde eine Elektromyographie des M. tibialis posterior mit Feinnadeln durchgeführt. Die Autoren konnten eine Veränderung der Muskelaktivität des M. soleus, des medialen Kopfes des M. gastrocnemius und eine Erhöhung der Muskelaktivität des M. tibialis anterior nachweisen [49]. Im Gegensatz zu den Teilnehmern in der vorliegenden Arbeit handelte es sich bei den Probanden seinerzeit um Erwachsene mit struktureller Grunderkrankung, die die Ursache des symptomatischen Knicksenkfußes sein könnte. Dies könnte die Unterschiede der Ergebnisse im Vergleich zu unserer Studie vor allem hinsichtlich der Aktivierung des M. tibialis anterior erklären. Außerdem wurde auch in dieser Studie nur eine Messung zu Beginn der Einlagentherapie durchgeführt, Langzeiteffekte können nicht abgeleitet werden. Um eine Minimierung des Infektionsrisikos zu erreichen, wurden die Messungen ausschließlich barfuß und im Schuh mit angepassten Einlagen durchgeführt [49], daher kann nicht differenziert werden, welchen Einfluss das Schuhwerk und die angefertigte Einlage auf das Ausmaß der Veränderung der Muskelaktivität haben.

In der Studie von Scott et al. wurde der Einfluss von Schuhwerk auf die Aktivität der Unterschenkelmuskulatur im Vergleich zum Barfußgehen bereits nachgewiesen [50]. Dieser betraf vor allem den M. tibialis anterior, den M. peroneus longus sowie den medialen M. gastrocnemius. Ein signifikanter

Unterschied zwischen der Nutzung von verschiedenem Schuhwerk konnte nicht nachgewiesen werden [50]. In der vorliegenden Arbeit wurden die Messungen sowohl barfuß, als auch im Schuh ohne Einlage und im Schuh mit Einlage durchgeführt. Um die Effekte der Einlagen auf die Muskelaktivität zu vergleichen, wurden die Messungen im Schuh ohne Einlagen und im Schuh mit Einlagen herangezogen. Um eine Abweichung des Einflusses von verschiedenem Schuhwerk auszuschließen, erhielten die Probanden für die Messung jeweils das gleiche Schuhmodell in der vorher ausgemessenen, passenden Größe.

Sowohl die stützenden als auch die sensomotorischen Einlagen erreichen erst in der mittleren Standphase den Kontakt zur Fußsohle und damit ihr volles Therapieausmaß [33, 47], daher wurde die Auswertung der Muskelaktivität in der mittleren Standphase durchgeführt. Das Maximum der Intensität des M. tibialis anterior tritt beim initialen Bodenkontakt auf, da er hier als Stabilisator dient. In der mittleren Standphase entspannt der M. tibialis anterior [14]. Daher könnte eine mögliche Muskelaktivierung in der Messung in der mittleren Standphase nicht ausreichend detektiert werden.

Der Knicksenkfuß geht häufig mit einer Hypermobilität einher [6]. Dies wurde in unserer Studie nicht berücksichtigt und stellt daher eine Einschränkung der Studie dar. In einer Studie mit 19 erwachsenen Teilnehmern fanden Levinger et al. signifikante Unterschiede in der Kinematik eines Knicksenkfußes verglichen mit einem normal gewölbten Fuß [51]. Hierbei konnte eine größere Plantarflexion, Abduktion des Vorfußes und eine erhöhte Innenrotation des Rückfußes festgestellt werden. Hieraus schlossen die Autoren, dass beim Gehen bei Patienten mit einem Knicksenkfuß eine höhere Pronation auftritt, was als Risikofaktor für Überlastungsschäden interpretiert wurde [51].

Buldt et al. konnten in ihrer systemischen Übersichtsarbeit ebenfalls Hinweise auf einen erhöhten Bewegungsradius des Rückfußes in der Frontalebene bei Patienten mit Knicksenkfuß und somit ein erhöhtes Risiko für Stressverletzungen dokumentieren [52].

Jafarnezhadgero et al. untersuchten in ihrer Studie mit 30 Jungen im Alter von 8 – 12 Jahren die Auswirkungen der Langzeitbehandlung mit Einlagen beim Knicksenkfuß auf die Kinematik und Kinetik der unteren Extremität [53]. Ähnlich dieser Arbeit wurden die Kinder doppelblind und randomisiert in zwei

Gruppen eingeteilt, eine Gruppe erhielt die stützende Einlage, die Kontrollgruppe erhielt eine Placebo-Einlage. Die Datenerhebung erfolgte vor Intervention und nach einem Tragezeitraum von 4 Monaten. Dabei konnte beobachtet werden, dass sich durch das Tragen der stützenden Einlagen eine Verbesserung der Ausrichtung der unteren Extremität im Vergleich zur Vormessung und im Vergleich zur Kontrollgruppe ergab [53]. Eine Untersuchung der Muskelaktivität oder von klinischen Parametern wie z.B. der Schmerzintensität wurde nicht durchgeführt. Ob eine Therapie mit Einlagen den Rückfuß durch Aktivierung der Unterschenkelmuskulatur stabilisieren könnte um damit langfristig das Risiko von Stressverletzungen zu senken, ist bisher nicht abschließend geklärt.

Ho et al. untersuchten insgesamt 26 männliche Basketballspieler, welche anhand von klinischen Merkmalen in zwei Gruppen, mit normal gewölbtem Fuß und mit Knicksenkfuß, eingeteilt wurden. Die Teilnehmer sollten verschiedene Sprünge in einem handelsüblichen Basketballschuh sowie in einem Basketballschuh mit vorgefertigter Einlage ausüben. Es konnte eine Korrelation zwischen dem Vorliegen eines Knicksenkfußes sowie einer verminderten Bodenreaktionskraft und Hüftbeugegeschwindigkeit festgestellt werden. In beiden Gruppen konnte eine signifikant vermehrte Knöchelversion durch das Tragen der vorgefertigten Einlage beobachtet werden. Eine Verbesserung der Sprungkraft war in beiden Gruppen nicht nachzuweisen [54]. Anders als in unserer Studie wurden hier nur vorgefertigte, konfektionierte Einlagen verwendet. Die Messungen erfolgten nur an einem Tag, ob das Tragen der Einlagen einen langfristigen Effekt auf die Sprungkraft haben könnte, ist nicht untersucht worden. Außerdem wurden hier gesunde Probanden mit Probanden mit Knicksenkfuß verglichen.

Die aktuelle Studie wurde prospektiv, randomisiert und doppelt-verblindet durchgeführt. Es handelte sich um eine Interventionsstudie, sodass die Patienten jeweils nur ein Einlagenmodell erhielten. Trotz größtmöglicher Sorgfalt des Untersuchers in der Positionierung der Oberflächenelektroden besteht das Risiko einer interindividuellen Abweichung, sodass ein direkter Vergleich der Patientenkollektive anhand der reinen Messwerte nicht sinnvoll ist. Daher wurden nur die Einlageneffekte (Differenzen aus Messungen mit und ohne Einlage) miteinander verglichen. Zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten

erfolgte in beiden Therapiegruppen ein Cross-over. Hierbei handelt es sich allerdings um den Vergleich einer bereits langfristigen, 6 Monate dauernden, durchgeführten Therapie mit der bereits verordneten Einlage und einer neu verordneten Einlage und einem damit nur kurzfristigen Effekt der neu gefertigten Einlage. Die Kontrollgruppe erhielt eine Placebo-Einlage ohne therapeutisch wirksame Komponente um den Placeboeffekt auszuschließen. Alle Einlagentypen hatten eine hohe optische Ähnlichkeit um eine Doppelverblindung zu ermöglichen.

7 Zusammenfassung

In der aktuellen Studie konnten Hinweise für einen Einfluss von sowohl stützenden/korrigierenden als auch sensomotorischen Einlagen auf die Aktivität des M. tibialis anterior nachgewiesen werden. Hierbei kam es zu einer Verminderung der Muskelaktivität während der mittleren Standphase zu Beginn der Therapie.

Außerdem konnte ein Abfall der Muskelaktivität des M. peroneus longus durch beide Einlagen, sowohl die stützende als auch die sensomotorische, zu Therapiebeginn nachgewiesen werden. Beide Einlagen könnten somit die Aktivität der Unterschenkelmuskulatur beeinflussen.

In der Kontrollmessung nach 6 Monaten konnten keine Unterschiede zwischen den Studiengruppen in der Differenz der Muskelaktivierung durch die alte Einlage nachgewiesen werden. Dies werten wir am ehesten als eine Abnutzung der Einlagen mit fehlenden Effekten auf die Unterschenkelmuskulatur, sodass eine regelmäßige Überprüfung der tatsächlichen Korrektur und der Wirksamkeit der Einlagen erfolgen sollte. Sollte keine ausreichende Korrektur vorliegen, könnte eine Neuverordnung auch vor dem Ablauf von 6 Monaten sinnvoll sein. Hierzu müssten allerdings weitere Untersuchungen mit kürzeren Untersuchungsintervallen durchgeführt werden.

In der Kontrollmessung nach einem Jahr konnte nach 6 Monate langem Tragen der sensomotorischen Einlage mit vorheriger herkömmlicher Therapie ein Anstieg der Amplitude des M. peroneus longus und damit eine Aktivitätssteigerung aufgezeigt werden. Die sensomotorische Einlage könnte eine Aktivitätssteigerung des M. peroneus longus nach einer langfristigen Therapie bewirken. Eine längerfristige Durchführung der konservativen Therapie mit sensomotorischen Einlagen könnte zur Aktivitätssteigerung durchaus notwendig sein.

Eine Zunahme des Valgus Index konnte ausschließlich in der Kontrollgruppe nachgewiesen werden, beide Therapiegruppen zeigten keine Änderung des Valgus Index. Beide Einlagentypen könnten eine Progredienz des Knicksenkfußes verhindern. Für eine genaue Beurteilung von Langzeiteffekten wäre eine längere Nachbeobachtungszeit sinnvoll.

Die dynamische Auflagefläche nahm zwischen dem Zeitpunkt der Rekrutierung und der Messung nach 6 Monaten in allen Studiengruppen signifikant zu. Auch zwischen der Messung nach 6 Monaten und nach 12 Monaten konnte in der Kontrollgruppe und der Studiengruppe 2, welche die stützende Einlage erhalten hatte, eine Zunahme der dynamischen Auflagefläche dokumentiert werden. Nur in der Gruppe, welche die sensomotorische Einlage erhalten hatte, kam es zu keiner Änderung der dynamischen Auflagefläche trotz Zunahme der Schuhgröße. In dieser Gruppe konnte ebenfalls eine Zunahme der Aktivität des M. peroneus longus nach 12 Monaten nachgewiesen werden. Die sensomotorische Einlage könnte also durch eine Aktivierung der fußgewölbestützenden Muskulatur zu einer Aufrichtung des Längsgewölbes führen und damit eine im Verhältnis zum Wachstum relative Verkleinerung der Auflagefläche bewirken. Um hierzu genauere Aussagen zu erhalten, wäre für weitere Untersuchungen eine vom Wachstum unabhängige Messmethode zu wählen.

Nur für die sensomotorische Einlage konnte nach einer Therapiedauer von 6 Monaten eine Verbesserung des Foot and ankle disability Index nachgewiesen werden. Die sensomotorische Einlage könnte also zu einer subjektiven Verbesserung der Fußfunktion führen. Für die stützende Einlage konnte ein ähnlicher Effekt nicht nachgewiesen werden. Die Kontrollgruppe zeigte allerdings eine tendenzielle Verschlechterung des FADI. Die stützende Einlage könnte eine Verschlechterung also aufhalten. Da in unsere Studie sowohl Kinder mit symptomatischem und mit asymptomatischem Knicksenkfuß eingeschlossen wurden, ist eine Aussage nur eingeschränkt möglich. Weitere Untersuchungen an Kohorten mit ausschließlich symptomatischem Knicksenkfuß wären daher sinnvoll.

Hinsichtlich der Schmerzintensität konnte eine Verbesserung nur für die stützende Einlage zwischen der Messung nach 6 Monaten und nach 12 Monaten nachgewiesen werden. Die stützende Einlage könnte also zur Linderung der mit dem Knicksenkfuß assoziierten Schmerzen führen. Da in der Studie sowohl Kinder mit schmerzhaftem als auch schmerzfreiem Knicksenkfuß untersucht wurden, kann keine endgültige Aussage getroffen werden. Auch hier wären Untersuchungen mit ausschließlich Probanden mit symptomatischem Knicksenkfuß von Vorteil.

8 Thesen

1. Sowohl stützende als auch sensomotorische Einlagen haben einen Effekt auf die Aktivität der fußgewölbestützenden Unterschenkelmuskulatur.
2. Aufgrund der Abnutzung und damit abnehmenden Wirksamkeit ist ein Wechsel der Einlagen nach 6 Monaten sinnvoll.
3. Eine sensomotorische Einlage bewirkt durch stützende Komponenten kurzfristig einen Abfall der Muskelaktivität des M. peroneus longus.
4. Nach langfristigem Therapieintervall bewirkt die sensomotorische Einlage eine Aktivitätssteigerung des M. peroneus longus.
5. Beide Einlagentypen vermeiden eine Progredienz des Knicksenkfußes gemessen am Valgus Index.
6. Die sensomotorische Einlage beeinflusst die Aufrichtung der Fußwölbung gemessen an der dynamischen Auflagefläche positiv.
7. Die Auflagefläche eignet sich aufgrund des wachsenden Fußes nur eingeschränkt als Parameter zur Untersuchung der Gewölbeaufrichtung.
8. Die Bestimmung der dynamischen Auflagefläche in Relation zur Fußgröße scheint der Bestimmung der statischen Auflagefläche überlegen.
9. Beide Einlagentypen vermeiden eine Verschlechterung der subjektiven Fußfunktion.
10. Sensomotorische Einlagen bewirken eine Verbesserung der subjektiven Fußfunktion.
11. Stützende Einlagen bewirken eine Verbesserung des Schmerzniveaus.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Döderlein L, Wenz W, Schneider U. *Fussdeformitäten Der Knickplattfuss*. Softcover reprint of the original 1st ed. 2002. Berlin: Springer Berlin, 2014.
- [2] Wagner F, Hofbauer R, Matussek J. Der kindliche Knick-Senk-Fuß: Normvariante oder therapiebedürftige Deformität? *Orthop* 2013; 42: 455–468.
- [3] Gijon-Nogueron G, Martinez-Nova A, Alfageme-Garcia P, et al. International normative data for paediatric foot posture assessment: a cross-sectional investigation. *BMJ Open* 2019; 9: e023341.
- [4] De Pellegrin M. Die subtalare Schrauben-Arthrorise beim kindlichen Plattfuß. *Orthop* 2005; 34: 941–954.
- [5] Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, et al. Prevalence of Flat Foot in Preschool-Aged Children. *Pediatrics* 2006; 118: 634–639.
- [6] Evans AM, Rome K, Carroll M, et al. Foot orthoses for treating paediatric flat feet. *Cochrane Database Syst Rev*; 2022. Epub ahead of print 14 January 2022. DOI: 10.1002/14651858.CD006311.pub3.
- [7] Tahmasebi R, Karimi MT, Satvati B, et al. Evaluation of Standing Stability in Individuals With Flatfeet. *Foot Ankle Spec* 2015; 8: 168–174.
- [8] Westhoff B, Weimann-Stahlschmidt K, Krauspe R. Der Knicksenkfuß im Kindesalter – Pathomorphologie, Spontanverlauf, konservative Behandlungsansätze. *Fuß Sprunggelenk* 2010; 8: 5–15.
- [9] Hien NM. Einlagen- und Schuhversorgung bei Fußdeformitäten. *Orthop de* 2003; 32: 119–132.
- [10] Hell, Anna K. S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. - Kindlicher Knick-Senkfuß, <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/033-020.html> (2022, accessed 29 April 2024).
- [11] Putz R, Müller-Gerbl M. Funktionelle Anatomie des Fußes. *Orthop* 1991; 20: 10.
- [12] Kapandji IA. *Funktionelle Anatomie der Gelenke: schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik*. 4., unveränderte Aufl., einbd. Ausg. Stuttgart: Thieme, 2006.

- [13] *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 100 Tabellen.* Stuttgart: Thieme, 2005.
- [14] Perry J, Berweck S, Perry J. *Ganganalyse: Norm und Pathologie des Gehens.* 1. Aufl. München Jena: Urban & Fischer, 2003.
- [15] Niethard FU, Carstens C. *Kinderorthopädie: 50 Tabellen.* 2., aktualisierte und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2010.
- [16] Morley AJM. Knock-knee in Children. *BMJ* 1957; 2: 976–979.
- [17] Dare DM, Dodwell ER. Pediatric flatfoot: cause, epidemiology, assessment, and treatment. *Curr Opin Pediatr* 2014; 26: 93–100.
- [18] Hefti F, Brunner R, Hasler C, et al. (eds). *Kinderorthopädie in der Praxis.* 3., vollst. überarb. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer, 2015.
- [19] Rao U, Joseph B. The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 2300 children. *J Bone Joint Surg Br* 1992; 74-B: 525–527.
- [20] Birhanu A, Nagarchi K, Getahun F, et al. Magnitude of flat foot and its associated factors among school-aged children in Southern Ethiopia: an institution-based cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord* 2023; 24: 966.
- [21] Rose G, Welton E, Marshall T. The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg Br* 1985; 67-B: 71–78.
- [22] Hefti F, Brunner R. Flexible arch of the foot. *Orthop* 1999; 28: 159–172.
- [23] Dohle J, Rammelt S (eds). *Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Fuß und Sprunggelenk.* 1st ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- [24] Götz-Neumann K. *Gehen verstehen - Ganganalyse in der Physiotherapie.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2003.
- [25] Zollinger H, Fellmann J. [Natural course of juvenile foot deformities]. *Orthopade* 1994; 23: 206–210.
- [26] Jani L. [Pediatric flatfoot]. *Orthopade* 1986; 15: 199–204.
- [27] Arnold W (ed). *Kompaktlehrbuch Physiotherapie. Orth: Orthopädie / Wolf Arnold.* Wiesbaden: Ullstein Medical, 1999.
- [28] Annika Gentz. *Fachwissen Physiotherapie - PT Orthopädie, Krankheitsbilder in der Orthopädie.* 1. Berlin: Die Fachwelt, 2021.
- [29] Wenger DR, Mauldin D, Speck G, et al. Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *J Bone Joint Surg Am* 1989; 71: 800–810.

- [30] Murley GS, Landorf KB, Menz HB. Do foot orthoses change lower limb muscle activity in flat-arched feet towards a pattern observed in normal-arched feet? *Clin Biomech* 2010; 25: 728–736.
- [31] Jafarnezhadgero A, Mousavi SH, Madadi-Shad M, et al. Quantifying lower limb inter-joint coordination and coordination variability after four-month wearing arch support foot orthoses in children with flexible flat feet. *Hum Mov Sci* 2020; 70: 102593.
- [32] Bernius P. Sensomotorische Einlagenversorgung – was ist daran neu, was ist alt bekannt? *Fuß Sprunggelenk* 2010; 8: 16–27.
- [33] Ludwig O, Kelm J, Fröhlich M. The influence of insoles with a peroneal pressure point on the electromyographic activity of tibialis anterior and peroneus longus during gait. *J Foot Ankle Res* 2016; 9: 33.
- [34] Dars S, Uden H, Kumar S, et al. When, why and how foot orthoses (FOs) should be prescribed for children with flexible pes planus: a Delphi survey of podiatrists. *PeerJ* 2018; 6: e4667.
- [35] Liebau K-H, Schmitt1 AP-L, Fröhlich S, et al. Comparison of the Influence of Supportive and Sensorimotor Insoles on Flat Feet in Children – a Double-Blind, Prospective, Randomized, Controlled Trial. *Ortop Traumatol Rehabil* 2023; 25: 195–206.
- [36] Lamm BM, Mendicino RW, Catanzariti AR, et al. Static Rearfoot Alignment: A Comparison of Clinical and Radiographic Measures. *J Am Podiatr Med Assoc* 2005; 95: 26–33.
- [37] Martin RL, Irrgang JJ, Burdett RG, et al. Evidence of Validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int* 2005; 26: 968–983.
- [38] Hale SA, Hertel J. Reliability and Sensitivity of the Foot and Ankle Disability Index in Subjects With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2005; 40: 35–40.
- [39] Konrad P. EMG-Fibel Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie, <https://www.velamed.com/wp-content/uploads/EMG-FIBEL-V1.1.pdf> (2011, accessed 17 November 2019).
- [40] Li J, Yang Z, Rai S, et al. Effect of Insoles Treatment on School-Age Children with Symptomatic Flexible Flatfoot: A 2-Year Follow-Up Study. *Indian J Orthop* 2022; 56: 1985–1991.

- [41] Dars S, Uden H, Banwell HA, et al. The effectiveness of non-surgical intervention (Foot Orthoses) for paediatric flexible pes planus: A systematic review: Update. *PLOS ONE* 2018; 13: e0193060.
- [42] Kirmizi M, Sengul YS, Akcali O, et al. Effects of foot exercises and customized arch support insoles on foot posture, plantar force distribution, and balance in people with flexible flatfoot: A randomized controlled trial. *Gait Posture* 2024; 113: 106–114.
- [43] Schmitt AP. Einlagenversorgung in der Therapie des Knicksenkfuß – Prospektive, randomisierte, doppelt verblindete, Placebo-kontrollierte Studie zum Vergleich von sensomotorischen und stützenden Einlagen. *Die Orthopädie* (accepted for publication 11/2024).
- [44] Lee H-J, Lim K-B, Yoo J, et al. Effect of Custom-Molded Foot Orthoses on Foot Pain and Balance in Children With Symptomatic Flexible Flat Feet. *Ann Rehabil Med* 2015; 39: 905.
- [45] Murley GS, Menz HB, Landorf KB. A protocol for classifying normal- and flat-arched foot posture for research studies using clinical and radiographic measurements. *J Foot Ankle Res* 2009; 2: 22.
- [46] Ishii Y, Ishikawa M, Shimada N, et al. Effect of lateral wedge insole on medial meniscus extrusion and its association with knee osteoarthritis progression. *Prosthet Orthot Int* 2024; 48: 533–539.
- [47] Murley GS, Menz HB, Landorf KB. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *J Foot Ankle Res* 2009; 2: 35.
- [48] Kulig K, Burnfield JM, Reischl S, et al. Effect of Foot Orthoses on Tibialis Posterior Activation in Persons with Pes Planus: *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 24–29.
- [49] Barn R, Brandon M, Rafferty D, et al. Kinematic, kinetic and electromyographic response to customized foot orthoses in patients with tibialis posterior tenosynovitis, pes plano valgus and rheumatoid arthritis. *Rheumatology* 2014; 53: 123–130.
- [50] Scott LA, Murley GS, Wickham JB. The influence of footwear on the electromyographic activity of selected lower limb muscles during walking. *J Electromyogr Kinesiol* 2012; 22: 1010–1016.

- [51] Levinger P, Murley GS, Barton CJ, et al. A comparison of foot kinematics in people with normal- and flat-arched feet using the Oxford Foot Model. *Gait Posture* 2010; 32: 519–523.
- [52] Buldt AK, Murley GS, Butterworth P, et al. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. *Gait Posture* 2013; 38: 363–372.
- [53] Jafarnezhadgero A, Madadi-Shad M, Alavi-Mehr SM, et al. The long-term use of foot orthoses affects walking kinematics and kinetics of children with flexible flat feet: A randomized controlled trial. *PLOS ONE* 2018; 13: e0205187.
- [54] Ho M, Kong PW, Chong LJ, et al. Foot orthoses alter lower limb biomechanics but not jump performance in basketball players with and without flat feet. *J Foot Ankle Res* 2019; 12: 24.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stadieneinteilung des kindlichen Knicksenkfußes [15].....	15
Tabelle 2: Merkmale der Studiengruppen, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau, n = Anzahl, m = Meter, kg = Kilogramm, kg/m ² = Kilogramm/Quadratmeter.	30
Tabelle 3: Vergleich des Valgus Index innerhalb der Gruppen zwischen Messzeitpunkt 0 und 1, ZP 0 = Messzeitpunkt vor Therapie, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten nach Therapie, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, p- Wert = Signifikanzniveau.....	41
Tabelle 4: Vergleich zwischen den Therapiegruppen und der Kontrollgruppe zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.	42
Tabelle 5: Vergleich des Valgus Scores innerhalb der Gruppen zwischen Messzeitpunkt 0 vor Therapie und Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten Therapie, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, ZP0 = Messzeitpunkt vor Therapie, ZP1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten Therapie, z = standardisierte Teststatistik, p-Wert = asymptotische Signifikanz.....	43
Tabelle 6: Vergleich des Valgus Scores zwischen den drei Studiengruppen zu allen drei Messzeitpunkten, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.....	43
Tabelle 7: Vergleich des FADI zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Rekrutierungszeitpunkt, ZP 1= Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, n = Stichprobengröße.....	45

Tabelle 8: Vergleich der Schmerzintensität innerhalb der Studiengruppen zwischen Messzeitpunkt 0 und Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, NRS = Schmerzintensität auf der Numerischen Rating-Skala, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, z = standardisierte Teststatistik, p-Wert = asymptotische Signifikanz.	46
Tabelle 9: Vergleich der Schmerzintensität zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, NRS = Schmerzintensität auf der Numerischen Rating-Skala, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.	47
Tabelle 10: Vergleich der Tragedauer innerhalb der Studiengruppen zwischen beiden Messzeitpunkten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, n = Stichprobengröße, h/d = Stunden pro Tag.	47
Tabelle 11: Vergleich der Häufigkeit der Durchführungen des Hausübungsprogrammes [Tage/Woche] innerhalb der Gruppen zwischen den Messzeitpunkten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau, d = Tage.	48
Tabelle 12: Vergleich der Häufigkeit der durchgeführten Hausübungen zwischen den Gruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, d = Tage, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.	49
Tabelle 13: Vergleich der dynamischen Auflagefläche innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messungen, n = Stichprobengröße, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau, ZP 0 = Messzeitpunkt vor Durchführung der Therapie, ZP 1 = Messzeitpunkt nach Durchführung der Therapie.	50
Tabelle 14: Vergleich des Maximums des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten,	

SD = Standardabweichung, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, n = Stichprobengröße, p- Wert = Signifikanzniveau..... 58

Tabelle 15: Vergleich des Integrals des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, SD = Standardabweichung, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, n = Stichprobengröße, p- Wert = Signifikanzniveau. 61

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung des Fußskeletts, 1: Tibia, 2: Fibula, 3: Talus, 4: Calcaneus, 5: Os cuboideum, 6: Os naviculare, 7: Os cuneiforme laterale, 8: Os cuneiforme intermedium, 9: Os cuneiforme mediale, 10: Ossa metatarsalia, 11: Ossa phalanges proximales, 12: Ossa phalanges mediales, 13: Ossa phalanges distales [eigene Darstellung].	7
Abbildung 2: 8-jähriger Junge mit Knicksenkfuß bds, Rückfußvalgus, prominentem Innenknöchel, Abflachung des medialen Längsgewölbes und positivem too many toes-Sign rechts [Eigenes Bild].	16
Abbildung 3: 8-jähriger Junge, Aufrichtung des medialen Längsgewölbes und Varisierung der Ferse im Zehenstand [Eigenes Bild].	18
Abbildung 4: Darstellung der verwendeten Einlagen (A: stützende/korrigierende Einlage, B: sensomotorische Einlage in Sonderbauweise, C: Placebo) [35].	31
Abbildung 5: Berechnung des Valgus Index (A = Malleolus lateralis, B= Malleolus medialis, C = Schnittpunkt der Intermalleolarlinie und der Fußachse) [35].	33
Abbildung 6: Tabelle zur Errechnung des Valgus Score modifiziert nach Rose [21].	33
Abbildung 7: Positionierung der Oberflächenelektroden über dem M. tibialis anterior und M. peroneus longus im prominentesten Bereich [Eigenes Bild].	37
Abbildung 8: Ganganalyse auf der Druckmessplatte mit angelegtem EMG.	38
Abbildung 9: Vergleich des FADI innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messzeitpunkten, ZP0 = Messzeitpunkt vor Therapie, ZP 1= Messzeitpunkt nach 6 Monaten nach Therapie, n = Stichprobengröße, p-Wert = Signifikanzniveau.	44
Abbildung 10: Vergleich der Tragedauer zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 1 = Zeitpunkt 1 nach 6 Monaten, ZP 2 = Zeitpunkt 2 nach 12 Monaten, p = Signifikanzniveau, h/d = Stunden pro Tag.	48

Abbildung 11: Vergleich der statischen Auflagefläche innerhalb der Studiengruppen zwischen den Messzeitpunkten, p- Wert = Signifikanzniveau, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten mit Cross-over, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten..... 50

Abbildung 12: Vergleich zwischen den Studiengruppen hinsichtlich der Veränderung der dynamischen Auflagefläche zwischen zwei Messzeitpunkten, ZP 1 = Differenz vom Messzeitpunkt 0 zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Differenz vom Messzeitpunkt 1 zum Messzeitpunkt nach 12 Monaten, SD = Standardabweichung, p-Wert = Signifikanzniveau. 51

Abbildung 13: Vergleich der Schuhgröße innerhalb aller Studiengruppen zwischen dem Messzeitpunkt vor und nach der Intervention, ZP 0 = Messzeitpunkt vor Intervention, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten mit Cross-over, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, p- Wert = Signifikanzniveau. 52

Abbildung 14: Vergleich der Differenzen des Maximums des M. tibialis anterior aus den Messungen mit und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Messzeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten% MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau. 53

Abbildung 15: Vergleich der Differenzen des Mean des M. tibialis anterior der Messungen mit und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Messzeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten (Cross-over), ZP 2 = Messzeitpunkt 2 nach 12 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau. 55

Abbildung 16: Vergleich der Amplitude des M. tibialis anterior der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zu den Messzeitpunkten, ZP 0 = Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten mit Cross-over, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau. 56

Abbildung 17: Vergleich der Differenzen des Integrals des M. tibialis anterior der Messungen mit neuen und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen

zu dem Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.	57
Abbildung 18: Vergleich der Differenzen des Maximums des M. peroneus longus der Messungen mit den neuen und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.	59
Abbildung 19: Vergleich des Mean des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Zeitpunkt der Rekrutierung, ZP 0 = Messzeitpunkt der Rekrutierung, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.	60
Abbildung 20: Vergleich der Differenzen des Mean des M. peroneus longus der Messungen mit den neuen und ohne Einlagen zwischen den Studiengruppen zum Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt 1 nach 6 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.	61
Abbildung 21: Vergleich der Amplitude des M. peroneus longus der Messungen ohne und mit Einlagen innerhalb der Gruppen zum Messzeitpunkt nach 6 und nach 12 Monaten, ZP 1 = Messzeitpunkt nach 6 Monaten, ZP 2 = Messzeitpunkt nach 12 Monaten, % MVC = Prozent der maximal voluntary contraction, p- Wert = Signifikanzniveau.	62

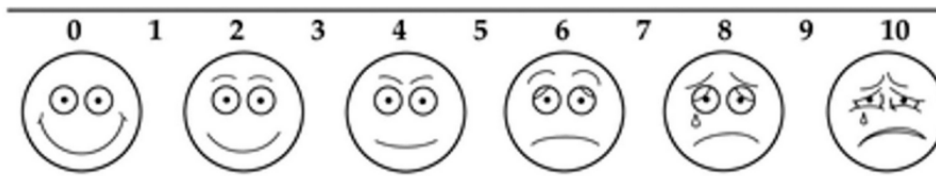
12 Anhang

		keine Probleme	leichte Probleme	moderate Probleme	extreme Probleme	unfähig zu tun
1.	Stehen	☐	☐	☐	☐	☐
2.	Gehen auf grader Fläche	☐	☐	☐	☐	☐
3.	Barfuß gehen auf grader Fläche	☐	☐	☐	☐	☐
4.	Bergauf gehen	☐	☐	☐	☐	☐
5.	Bergab gehen	☐	☐	☐	☐	☐
6.	Treppen aufgehen	☐	☐	☐	☐	☐
7.	Treppen abgehen	☐	☐	☐	☐	☐
8.	Gehen auf unebener Fläche	☐	☐	☐	☐	☐
9.	Kurven gehen	☐	☐	☐	☐	☐
10.	Hocken	☐	☐	☐	☐	☐
11.	Schlafen	☐	☐	☐	☐	☐
12.	Auf den Zehen gehen	☐	☐	☐	☐	☐
13.	Bewegungsbeginn	☐	☐	☐	☐	☐
14.	5 Min. gehen	☐	☐	☐	☐	☐
15.	10 Min. gehen	☐	☐	☐	☐	☐
16.	15 Min. gehen	☐	☐	☐	☐	☐
17.	Hausarbeit	☐	☐	☐	☐	☐
18.	Aktivitäten des täglichen Lebens	☐	☐	☐	☐	☐
19.	Körperpflege	☐	☐	☐	☐	☐
20.	Leichte Arbeit (stehen, gehen)	☐	☐	☐	☐	☐
21.	Schwere Arbeiten (drücken/ziehen, klettern, tragen)	☐	☐	☐	☐	☐
22.	Freizeitaktivität	☐	☐	☐	☐	☐

		Kein Schmerz	mild	moderat	stark	unaushaltbar
23.	Durchschnittlicher Schmerz	☐	☐	☐	☐	☐
24.	Ruheschmerz	☐	☐	☐	☐	☐
25.	Schmerz bei normaler Aktivität	☐	☐	☐	☐	☐
26.	Erster Schmerz am Morgen	☐	☐	☐	☐	☐

Anhang 1: Fragebogen des Foot and ankle disability Index

Bitte tragen sie auf der unten gezeigten Skala das aktuelle Schmerzniveau im Bereich von Fuß und Sprunggelenk ein, wobei 0 kein Schmerz und 10 den stärksten vorstellbaren Schmerz darstellt.



Anhang 2: Skala zur Erfassung der Schmerzintensität auf der Numerischen Rating Skala

13 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name, Vorname	Liebau, Kira-Henriette
Geburtsdatum	04.03.1994
Geburtsort	Rostock
Adresse:	Uhlenstrat 25 18182 Rövershagen
Staatsangehörigkeit	deutsch

Beruflicher Werdegang

seit 01/2019	Assistenzärztin der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsmedizin Rostock
--------------	--

Studium

09/2012 – 12/2018	Studium der Humanmedizin Universität Rostock
2018	Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung (mündlich)
2017	Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung (schriftlich)
2014	Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung (Physikum)

Schulbildung

08/2004 – 06/2012	Gymnasium Reutershagen in Rostock
2012	Allgemeine Hochschulreife
08/2000 – 07/2004	Grundschule Kritzmow

Publikationsliste

- Comparison of the Influence of Supportive and Sensorimotor Insoles on Flat Feet in Children - a Double-Blind, Prospective, Randomized, Controlled Trial.
Liebau KH, Schmitt AP, Fröhlich S, Bünzen C, Mittelmeier W, Schulze C. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2023 Aug 31;25(4):195-206. doi: 10.5604/01.3001.0053.9346. PMID: 37947144 Clinical Trial.
- Comparison of the influence of supportive and sensorimotor insoles in the muscle activity of tibialis anterior and peroneus longus in combat boots.
Schmitt AP, Liebau KH, Hamm A, Hacke C, Mittelmeier W, Schulze C. *Foot (Edinb).* 2022 Sep; 52:101910. doi: 10.1016/j.foot.2022.101910. Epub 2022 Feb 11. PMID: 36049266 Clinical Trial.
- Einlagenversorgung in der Therapie des Knicksenkfuß – Prospektive, randomisierte, doppelt verblindete, Placebo-kontrollierte Studie zum Vergleich von sensomotorischen und stützenden Einlagen
Schmitt AP, Liebau KH, Hamm A, Mittelmeier W, Schulze C, Die Orthopädie (accepted for publication 11/2024)

Fachvorträge

- „Einlagenversorgung bei Kindern mit Knicksenkfuß – Überblick über aktuelle Studien“, 15. Kinderorthopädischer Abend, Klinik und Poliklinik für Orthopädie, 18.09.2019
- „Kindliche Fußdeformitäten – vom Gips bis zum Sport“ – 19. Kinderorthopädischer Abend, Klinik und Poliklinik für Orthopädie Universitätsmedizin Rostock, 23.11.2023
- „Prävention von potenziell Arthrose - induzierenden knöchernen Veränderungen sowie Verletzungen des Hüft- und Kniegelenkes bei Kindern und Jugendlichen“ – Kick-off Meeting – Präventive und rehabilitative Therapien am Hüft- und Kniegelenk, Uniklinikum Eppendorf Hamburg, 04.05.2024
- „Körperliches Handicap – einfache Klassifizierung in der Praxis“, 21. Kinderorthopädischer Abend, Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsmedizin Rostock, 27.11.2024

14 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die an der Entstehung dieser Dissertation beteiligt waren.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. habil. Christoph Schulze für die Vergabe dieses Themas, welches mein Interesse an der Kinderorthopädie geweckt und gefestigt hat. Weiterhin möchte ich mich für die intensive Betreuung, die Anleitung, die guten Ratschläge und die Geduld mit mir bedanken.

Ebenso möchte ich allen danken, die mich auf dem Weg begleitet und mir geholfen haben, insbesondere Prof. Dr. med. habil. Wolfram Mittelmeier für die fachliche Unterstützung und für die Möglichkeit der Promotion an der Klinik für Orthopädie der Universitätsmedizin Rostock sowie Frau. PD Dr. med. habil. Susanne Fröhlich für die Rekrutierung der Patienten und die fachliche Unterstützung.

Weiterhin möchte ich den Firmen Medi und der Orthopädietechnik Liebau für die Unterstützung bei der Durchführung der Studie danken. Insbesondere möchte ich Herrn Thomas Hacker erwähnen, der die Fertigung der Einlagen durchführte und mich während der Studie begleitet hat.

Ich danke meinen Freundinnen und Freunden, die mich immer wieder mit ihren eigenen Erfahrungen unterstützt haben und mir mit ihrem Rat zur Seite stehen.

Vor allem danke ich meiner Mutter, meinem Bruder und meinem Freund, die mir immer den Rücken freigehalten und mich ermutigt haben und die immer ein offenes Ohr und ein herzliches Wort parat haben.

15 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere eidesstattlich durch eigenhändige Unterschrift, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Weise noch nicht als Studienleistung zur Anerkennung oder Bewertung vorgelegt worden. Ich weiß, dass bei Abgabe einer falschen Versicherung die Prüfung als nicht bestanden zu gelten hat.

Rostock

(Abgabedatum)

(Vollständige Unterschrift)