

Aus der Kinderchirurgischen Klinik und Poliklinik im
Dr. von Haunerschen Kinderspital
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. D. von Schweinitz

Die sprunggelenksnahe Unterschenkelfraktur im Kindes- und Jugendlichenalter
Klinische und biomechanische Nachuntersuchung nach operativer Versorgung

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Christian Alexander Bäuml
aus
Kulmbach

2008

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. H.-G. Dietz

Mitberichterstatter: Prof. Dr. S. Keßler

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. P. Knorr

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2008

Inhaltsübersicht

| | |
|--|-----------|
| 1. <u>Einleitung</u> | 4 |
| 1.1. Einführung | 4 |
| 1.2. Fragestellung | 5 |
| 2. <u>Material und Methoden</u> | 6 |
| 2.1. Patienten und Probanden | |
| 2.1.1. Patienten: Allgemeines | 6 |
| 2.1.2. Patienten: Sprunggelenksfrakturen | 7 |
| 2.1.3. Probanden | 9 |
| 2.1.4. Gruppenbildung | 9 |
| 2.2. Datenerfassung | |
| 2.2.1. Allgemeines | 9 |
| 2.2.2. Archiv | 10 |
| 2.2.3. Fragebogen | 10 |
| 2.2.4. Klinische Untersuchung | 10 |
| 2.2.5. Dynamische Pedographie | 10 |
| 2.3. Datenaufbereitung | |
| 2.3.1. Multimask (Novel) | 13 |
| 2.3.2. Excel (Microsoft) und SPSS | 15 |
| 2.4. Datenweiterverarbeitung | |
| Allgemein | 15 |
| Bodenreaktionskraft | 15 |
| Relativimpulse | 16 |
| Bodenkontaktzeit, Fußfläche und Maximaldruck | 16 |
| Mediolateraler Belastungsfaktor MLF | 16 |
| Symmetrie-Index SI | 17 |
| Vorfußindex FFI | 18 |
| Vorfuß-Fersen-Index VFI | 18 |
| Clinical-Score | 19 |
| Statistische Auswertung | 19 |
| 3. <u>Ergebnisse</u> | 20 |
| 3.1. Clinical Score | 20 |
| 3.2. Fragebogen | |
| 3.2.1. Patienten mit gutem Outcome | 21 |
| 3.2.2. Patienten mit schlechtem Outcome | 22 |
| 3.3. Klinische Untersuchung | 24 |
| 3.4. Anthropometrische Daten | 28 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.5. | Pedographie | |
| 3.5.1. | Fußfläche [cm ²] | 29 |
| 3.5.2. | Bodenkontaktzeit [ms] | 32 |
| 3.5.3. | Bodenreaktionskraft [%KG] | 33 |
| 3.5.4. | Maximaldruck [N/cm ²] | 41 |
| 3.5.5. | Relativimpuls [%] | 47 |
| 3.5.6. | MLF, FFI, VFI [] mit | |
| | Zusammenfassung Relativimpuls/Maximaldruck | 54 |
| 4. | <u>Diskussion</u> | 60 |
| 4.1. | Diskussion der Methode | |
| | Pedographie – Kritische Betrachtung | 60 |
| | Gruppenbildung | 61 |
| | Datenweiterverarbeitung | 62 |
| | Statistische Auswertung | 63 |
| 4.2. | Diskussion der Ergebnisse | |
| | Fragebogen, klinische Untersuchung, Clinical Score | 63 |
| | Anthropometrische Daten | 64 |
| | Fußfläche und Bodenkontaktzeit | 64 |
| | Bodenreaktionskraft | 66 |
| | Maximaldruck, Relativimpuls, MLF, FFI und VFI | 68 |
| | Schlussfolgerung | 72 |
| 5. | <u>Zusammenfassung</u> | 73 |
| 6. | <u>Schrifttumsverzeichnis</u> | 75 |
| 7. | <u>Anhang</u> | 82 |
| 7.1. | Verzeichnis der Abkürzungen | 82 |
| 7.2. | Fragebogen | 83 |
| 7.3. | Klinischer Untersuchungsbogen | 85 |
| 7.4. | Clinical Score | 90 |
| 7.5. | Patienten: Fallvorstellung ausgewählter Patienten | 91 |
| 8. | <u>Verzeichnis der Abbildungen, Graphiken und Tabellen</u> | 99 |
| 8.1. | Abbildungen | 99 |
| 8.2. | Graphiken | 99 |
| 8.3. | Tabellen | 100 |
| | <u>Danksagung</u> | 101 |
| | <u>Lebenslauf</u> | 102 |

1. Einleitung

1.1. Einführung

Sprunggelenksnahe Unterschenkelfrakturen zählen zu den häufigsten Verletzungen. Die Inzidenz von Frakturen im Bereich des OSG in der europäischen Bevölkerung liegt bei etwa ein Promille, wobei sich 40% dieser Verletzungen beim Sport ereignen (Ochs et al. (2001), Lindsjö (1985)). Im Wachstumsalter liegt die zunehmende Prävalenz von Tibia- und Fibulafrakturen bei Jungen bei etwa 12/10.000, bei Mädchen etwa bei 6/10.000. Sie „stellen die dritt häufigste Frakturform nach Femur-/ Radius- und Ulnafrakturen dar“ (Frangen et al. (2005), Bengner et al. (1990), Cullen et al. (1996), Cummings (2001), Feldkamp et al. (1977)). In einer multizentrischen Studie bei Kindern bis 16 Jahre konnten in 7,8% der Fälle distale Unterschenkelfrakturen inklusive der Sprunggelenksfrakturen nachgewiesen werden. Diese erreichten nach dem 12. Jahr den Gipfel (Kraus et al. (2005)). Einen Anstieg der Inzidenz in der Altersgruppe 15-24 Jahre konnten ebenfalls Meisinger et al. (2002) zeigen.

Dislozierte sprunggelenksnahe Unterschenkelfrakturen werden heute operativ versorgt. Dies dient der primären Gelenkrekonstruktion und nicht der primären Vermeidung von Wachstumsstörungen (Frangen et al. (2005), Konisek (1983), Kubat et al. (1977), Neugebauer et al. (1981), von Laer (2003)).

Dabei zeigt sich bezüglich der Patientenzufriedenheit, des funktionellen Ergebnisses und des radiologischen Befundes in bis zu 90% der Fälle ein sehr gutes Behandlungsergebnis (Becker et al. (1995), De Souza et al. (1985), Lindsjö (1985), Roberts (1983), Olerud et al. (1986)). Jedoch weisen Becker et al. (1995) darauf hin, dass ein gutes klinisches Ergebnis und anatomisch exakte Reposition nicht automatisch zu einem symmetrischen Gang führe. Auch zeigen Mittlmeier et al. (1993), dass ein gutes Röntgenergebnis nach Rekonstruktion nicht zwangsläufig mit einem guten funktionellen, ganganalytischen Resultat einhergeht. Ebenso weisen Becker et al. (1997) darauf hin, dass „frühere Untersuchungen anderer Autoren, aber auch unserer Arbeitsgruppe zeigten, dass nach Trauma am Fuß signifikante Gangbildveränderungen beobachtet werden können.“

Klinische Untersuchungsmöglichkeiten, wie die Bestimmung der Gelenkbeweglichkeit nach der Neutral-Null-Methode, Funktionstests, wie z.B. der Zehenspitzenstand, Röntgen, Computertomographie, Kernspinnuntersuchungen stellen den gebräuchlichen Weg nach Verletzungen dar. Diese sind jedoch nicht ausreichend,

um die Komplexität des Ganges zu beurteilen (Mittlmeier (1995)). Auch zeigt sich, dass eine subjektive Gangbeurteilung durch geübte medizinische Personen im Vergleich zur gemessenen Asymmetrie nicht ausreichend ist und die quantitative Aussage über Bewegungsmuster und Belastungen aufgrund visueller Beobachtung mit Subjektivität und der Möglichkeit von Fehlinterpretationen verknüpft ist (Attinger (1987), Lüthi (1987)).

„Es stellt sich daher die Frage, ob andere Methoden wie beispielsweise die Verfahren zur Erfassung biomechanischer Bewegungsmerkmale Informationen für deren Erklärung liefern können. Ein Verfahren stellt in diesem Zusammenhang die Pedographie dar“ (Losch et al. (2002)). So haben bereits frühere Studien durch Messung der plantaren Druckverteilung eine gestörte Biomechanik nach Frakturen des Fußes aufgezeigt (z.B.: Bauer et al. (1993), Baumann et al. (1994), Becker et al. (1995), Rosenbaum et al. (1997), Shih et al. (1993)).

Bisher sind Kinder kaum in die pedographischen Untersuchungen mit eingegangen (Hennig et al. (1994), Ganley et al. (2005), Hennig et al. (1991), Menkveld et al. (1988), Unger et al. (2004)). Ferner können die pedographischen Ergebnisse des Erwachsenen nicht einfach in das Kindesalter übernommen werden (Hennig et al. (1994)). Die relativ häufigen Sprunggelenksfrakturen werden bei Kindern in der Literatur in Hinblick auf pedographische Untersuchungen bisher nicht berücksichtigt. Deswegen wird in dieser Studie eine Untersuchung nach zurückliegender sprunggelenksnaher Unterschenkelfraktur im Kindes- und Jugendlichenalter unter Zuhilfenahme der Pedographie durchgeführt.

1.2. Fragestellung

Ziel dieser Untersuchung ist die vergleichende Analyse des Fußes sowohl intraindividuell zwischen unverletzter unterer Extremität und ehemals bei sprunggelenksnaher Unterschenkelfraktur im Kindes- bzw. Jugendlichenalter osteosynthetisch versorgter Extremität, als auch interindividuell zu einem Normalkollektiv. Hierzu werden subjektive und objektive Kriterien herangezogen.

Es werden ein Fragebogen, die körperliche Untersuchung, ein klinischer Score und die dynamische Pedographie zur Bewertung eingesetzt.

2. Material und Methoden

2.1. Patienten und Probanden

2.1.1. Patienten: Allgemeines

Es wurden Patienten ausgewählt, die in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals der Ludwig-Maximilians-Universität München behandelt wurden. Das Auswahlkriterium war operativ versorgte Sprunggelenksfrakturen im Zeitraum von April 1993 bis Februar 2000. Insgesamt konnten 56 Personen postalisch angeschrieben und zu einer Nachuntersuchung eingeladen werden. Es konnten gesamt 37 Patienten (66%) nachuntersucht werden. Dies erfolgte von Juli 2001 bis März 2002. Bei zwei Patienten wurde wegen Zeitmangels der Patienten bei klinischer Beschwerdefreiheit auf den Fragebogen und die ausführliche klinische Untersuchung verzichtet. Bei einer Patientin wurden zusätzlich Röntgenaufnahmen aufgrund eines schlechten klinischen Ergebnisses durchgeführt.

Bei 19 Kindern war die Fraktur links, bei 17 rechts. Ein Mädchen erlitt zuerst eine rechtsseitig 12/96 und 03/98 anschließend linksseitig; beide Frakturen wurden in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals versorgt. Dieses Mädchen wurde bei der anthropometrischen, in dem Neutral-Null-Ergebniskapitel und bei der pedographischen Auswertung ausgeschlossen, da die pedographische Vergleichbarkeit zwischen gesundem und verletzten Bein nicht erfolgen konnte.

Somit enthielt das Patientenkollektiv 36 Personen bei den anthropometrischen Daten und bei der pedographischen Auswertung.

Die Latenzzeit zwischen Unfalltag und der Nachuntersuchung betrug zwischen 2½ und fast 11 Jahren (im Mittel 62 ± 29 Monate; $N=37$ bzw. 63 ± 29 Monate; $N=36$). 64,9% der Patienten waren männlich, 35,1% weiblich. Das Alter am Unfalltag lag zwischen 3 und 17 ($12,4 \pm 2,7$) Jahren und bei der Nachuntersuchung zwischen 11 und 24 ($17,6 \pm 3,1$) Jahren (Tabellen 1 und 2).

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | Standardabweichung |
|---------------|-----------|----------|-----------|-------------|--------------------|
| Gesamt | 37 | 3 | 17 | 12,4 | 2,7 |
| männlich | 24 | 3 | 17 | 12,6 | 3 |
| weiblich | 13 | 8 | 15 | 12,1 | 2,4 |

Tabelle 1 Alter am Unfalltag

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | Standardabweichung |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------------|
| Gesamt | 37 | 11 | 24 | 17,6 | 3,1 |
| männlich | 24 | 11 | 24 | 18 | 3,5 |
| weiblich | 13 | 14 | 23 | 16,7 | 2,2 |

Tabelle 2 Alter bei Nachuntersuchung

2.1.2. Patienten: Sprunggelenksfrakturen

Unfallursachen:

Zwei männliche Kinder zogen sich die Verletzung beim Fußballspielen im Sportverein zu, ein weibliches Kind beim Handstandüberschlag beim Turn-Sportverein. Weitere 11 männliche und sechs weibliche Patienten verletzten sich entweder beim Freizeitsport oder zu Hause (Tabelle 3).

| Fußball | Schaukel | Skateboarden | Klettergerüst | Rodeln | Fahrradfahren |
|--------------------------|------------|----------------------------|----------------|------------|--------------------------------|
| 4 männlich 1 weiblich | 1 weiblich | 1 weiblich | 1 weiblich | 1 männlich | 2 männlich |
| Baumklettern | Trampolin | Vom 1. Stock gesprungen | hochgesprungen | Handstand | Auf der Treppe ausgerutscht |
| 1 männlich | 1 weiblich | 1 männlich | 1 männlich | 1 weiblich | 1 männlich |

Tabelle 3 Unfallursachen im Freizeitsport / zu Hause

Sechs Patienten und sechs Patientinnen erlitten eine Sprunggelenksfraktur in der Schule und im Schulsport (Tabelle 4).

| Fußball | Gummimatte gestolpert | Schlittschuh- laufen | Nachtwanderung (Schulandheim) | Turnen | ausgerutscht | Sonstiges |
|------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------|--------------|------------|
| 2 männlich | 1 männlich 1 weiblich | 1 männlich | 1 weiblich | 3 weiblich | 2 männlich | 1 weiblich |

Tabelle 4 Unfallursachen in der Schule und im Schulsport

Ein Unfall ereignete sich im Treppenhaus der Poliklinik bei einem stationären weiblichen Kind. Ferner waren drei männliche Patienten in einen Verkehrsunfall verwickelt. Bei zwei Jungen konnte der Unfallmechanismus nicht erfasst werden.

Frakturart und Lokalisation:

Es wurde die AO Klassifikation der Frakturen angewendet (Müller et al. (1989)).

Die Daten können Tabelle 5 entnommen werden.

| Tibia/Fibula | Segment | Anzahl | Typ | Anzahl | Gruppe | Anzahl |
|--------------|---------|--------|-----|--------|--------|--------|
| Tibia distal | 43- | 22 | A | 7 | 1 | 1 |
| | | | B | 11 | 2 | 6 |
| | | | C | 4 | 1 | 11 |
| Malleolen | 44- | 7 | A | 3 | 1 | 2 |
| | | | B | 4 | 2 | 1 |
| | | | | | 3 | 1 |

| Kombinationsverletzungen: |
|---|
| 44-A1 mit 43-B1 (einmal) |
| 44-C1 mit 43-A1 (dreimal) |
| 44-C1 mit 43-A1 und 43-B1 mit Femurfraktur (einmal) |
| 44-C1 mit 43-C1 (einmal) |
| 44-C2 mit 43-A1 (einmal) |

Tabelle 5 AO-Klassifikation der Frakturen

Von zwei Patienten konnte die Sprunggelenksfraktur nicht in AO klassifiziert werden, da die Röntgenbilder an die Versicherungen verschickt worden waren.

Die Patientin mit der doppelseitigen Fraktur hatte folgende Verschlüsselung (in der Tabelle 5 mit enthalten): 44-A1 mit 43-B1 (1996) rechts, 43-B1 (1998) links.

Therapie, Begleiterkrankungen:

Alle Patienten wurden einer operativen osteosynthetischen Therapie zugeführt. Der überwiegende Teil der Patienten wurde mit Schrauben, ein Teil mit Drähten osteosynthetisch versorgt. Bei einem Patienten wurden Nancy-Nägel verwendet. Eine ausgedehnte Verletzung erforderte die Versorgung des Malleolus medialis mit Zuggurtungsosteosynthese, sowie die Schraubenosteosynthese der Tibia (Volkman Dreieck), K-Draht-Osteosynthese der Tibia (laterale Epiphyse) und die Anlage einer Drittelrohrplatte und Cerclage an der Fibula. Die regelhaft direkte postoperative Versorgung erfolgte unter physikalischer Therapie (Eis lokal) und Hochlagern. Der Patient erhielt einen Gips und wurde krankengymnastischer Übungsbehandlung zugeführt. An Gehstützen wurde er unter Entlastung des operierten Beines mobilisiert. Eine zeitgerechte Belastungssteigerung wurde durchgeführt, ebenso erfolgte die zeitgerechte Metallentfernung nach Konsolidierung der Fraktur.

An (präoperativ bestehenden) Begleiterkrankungen sind einmal eine psychosomatische Erkrankung, einmal ein Zustand nach einer kompletten II° offenen Unterschenkelfraktur am selben Bein, die ebenfalls in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals ausbehandelt wurde, eine Phenylketonurie, ein Zustand nach einer Unterschenkelfraktur am selben Bein, die mit Gips behandelt wurde, eine Hüftgelenksdysplasie einseitig (bei kompletter Ausheilung nach Behandlung mit Spreizhose) und einmal ein Zustand nach Hüftdysplasie beidseits mit anlagebedingtem Knick- und Senkfuß beidseits dokumentiert.

Fallvorstellungen ausgewählter Patienten finden sich im Anhang 7.5.

2.1.3. Probanden

Nachdem die Patienten untersucht wurden, wurden gesunde Probanden akquiriert.

Da ein Vergleich der Daten postoperativ zu den Daten vor der Verletzung normalerweise nicht vorliegt, ist man darauf angewiesen entweder diese bei einseitigen isolierten Verletzungen mit der Gegenseite zu vergleichen oder mit entsprechenden gesunden Probanden (Mittlmeier et al. (2005)). Um die Aussagekraft zu erweitern wurde hierzu zusätzlich zweite Möglichkeit angewendet.

Der Altersbereich der Kontrollgruppe lag zwischen 10 und 24 Jahren.

Es erfolgte ebenfalls eine klinische Untersuchung, der Fragebogen wurde ausgefüllt und die Pedographie durchgeführt. Dies erfolgte von Februar 2002 bis Februar 2003.

Die Ausschlusskriterien waren folgende: neurologische bzw. muskuläre Grunderkrankungen, Stoffwechselerkrankungen, zurückliegende oder aktuelle Verletzungen oder Frakturen der unteren Extremität, des Beckens und der Wirbelsäule, durchgeführte Operationen in den letzten Wochen, Tumore oder zehrende Erkrankungen. Auch wurden ausgeprägte Fuß- und Beindeformitäten, wie z.B. ein Pes planus oder Genu valga ausgeschlossen, sowie chronische Bandinstabilitäten und Außenbandverletzungen. Ferner wurden auch Abweichungen von dem Normbereich des Body-Maß-Index nicht in die Auswertung mit einbezogen.

2.1.4. Gruppenbildung

Aufgrund der besonderen Verhältnisse bei Kindern - insbesondere das Wachstum - wurden die Patienten- und Probandengruppen in drei Altersbereiche unterteilt (10-13, 14-17, 18-24 Jahre).

Im Abschnitt 3.4 des Kapitels Ergebnisse wird auf die anthropometrischen Daten genauer eingegangen.

2.2. Datenerfassung

2.2.1. Allgemeines

Die Patienten bzw. Probanden wurden einzeln zu der Untersuchung in das Dr. von Haunersche Kinderspital eingeladen. Die Befragung, klinische Untersuchung und die Pedographie wurden stets von demselben Untersucher durchgeführt.

2.2.2. Archiv

Die Akten der Patienten wurden aus dem Ambulanzarchiv, dem zentralen Archiv und dem Röntgenarchiv zusammen getragen. Für die Klassifikation der Frakturen nach AO konnten die Röntgenbilder im Röntgenarchiv ebenfalls eingesehen.

2.2.3. Fragebogen

Jeder Patient und jeder Proband wurde zuerst in der Ambulanz des Dr. von Haunerschen Kinderspitals der Universität München befragt. Die Befragung richtete sich nach dem Fragebogen (Abbildung Nr. 6 im Anhang) und die Antworten wurden von dem Untersucher dokumentiert. Die Fragen, die sich nur auf die Fraktur bezogen, wurden den Probanden nicht gestellt.

2.2.4. Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung erfolgte anschließend ebenfalls in der Ambulanz. Hierzu wurde ein standardisierter Untersuchungsbogen erstellt und verwendet (Abbildung Nr. 7 im Anhang). Pathologische Veränderungen wurden dokumentiert.

Unter dem Punkt Besonderheiten des Untersuchungsbogens wurden ferner pathologische Abriebmuster der Schuhsohlen, sowie andere Auffälligkeiten dokumentiert. Einmal wurden ergänzende aktuelle Röntgenaufnahmen angefertigt.

2.2.5. Dynamische Pedographie

Im Anschluss daran folgte die dynamische Pedographie, die hierfür in einem gesonderten Raum außerhalb der Ambulanzzimmer durchgeführt wurde.

Die Daten wurden mit dem kapazitiven Druckaufnahmesystem EMED-SF von der Firma Novel GmbH erhoben (siehe Abbildungen 1 und 2). Hierbei handelte es sich um ein elektronisches Meßsystem zur dynamischen Erfassung von Druckverteilungen, basierend auf kapazitiven Sensoren. Statische und dynamische Messungen mit einer Messgeschwindigkeit von maximal 150.000 Sensorsignalen pro Sekunde konnten durchgeführt werden. Die technischen Daten können Tabelle 6 entnommen werden.

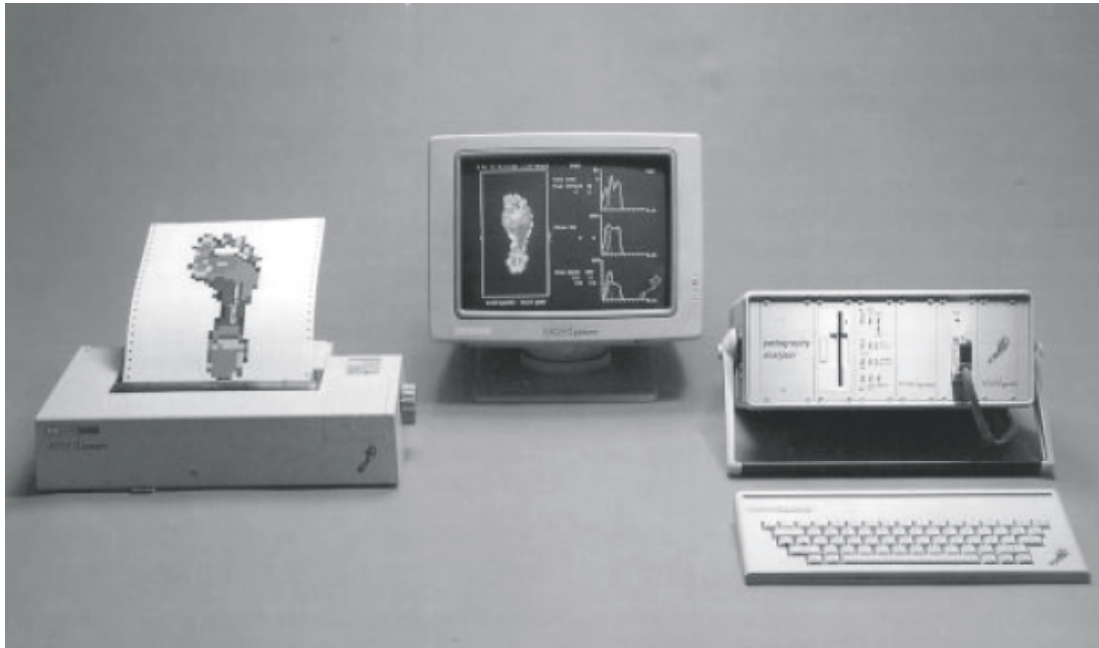


Abbildung 1 EMED-SF

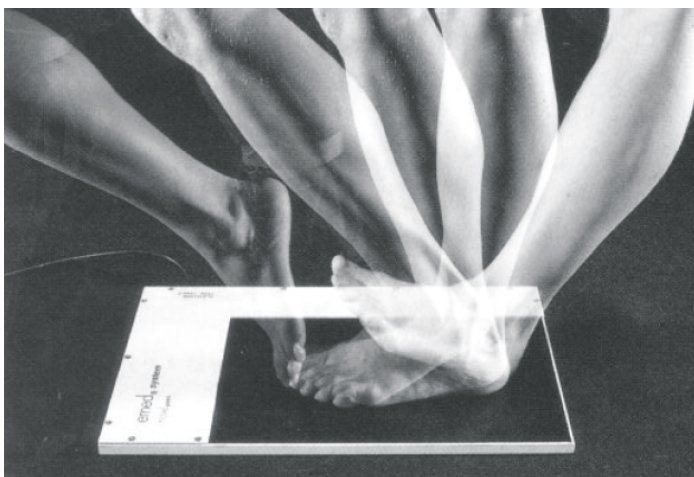


Abbildung 2 Die Druckmessplatte

| Technische Daten der Messplattform EMED SF-4 von Novel | |
|--|----------------------------|
| Messbereich: | 1 – 127 N/cm ² |
| Sensorzahl: | 2.736 |
| Ortsauflösung: | 4 Sensoren/cm ² |
| Messfrequenz: | 50 Hz |
| Druckauflösung: | 1 N/cm ² |
| Genauigkeit: | ± 5% |
| Temperaturbereich: | 10 – 40° C |

Tabelle 6 Technische Daten der Messplattform EMED SF-4 (Novel)

Die Signale der Sensoren wurden auf einem Farbmonitor dargestellt. Darauf waren die farbig abgestuften Druckwerte, Kraftverlaufskurven über die Zeit, der Maximaldruck und die belastete Fläche der Messplattform über die Zeit direkt ablesbar. Somit erhielt man eine optische Vorabkontrolle der Qualität der Messung. Die Messgrößen waren hier der Druck [N/cm^2], die Kraft [N], die Zeit [ms] und der Ort des gemessenen Druckes auf der Messplattform (X/Y – Koordinate).

Das Gerät verfügte über verschiedene Betriebsarten:

Die „ON LINE“ – Betriebsart für die statische Messung bei stehenden Personen oder Objekten, die „FAST“ – Betriebsart, um dynamische Vorgänge wie Abrollvorgänge beim Gehen oder Rennen zu beobachten, sowie den „SINGLE“ – Modus. Bei zuletzt genannter Betriebsart wurde manuell der Start und Stop der Messung eines einzigen Bildes durchgeführt.

Im „FAST“ – Modus, der in dieser Untersuchung verwendet wurde, erfolgte der Messbeginn automatisch, sobald die Sensoren eine erste Druckveränderung wahrnahmen. Die Kalibrierung erfolgte vor jeder Messung in unbelastetem Zustand durch einen Selbstabgleich des Gerätes.

Es wurde die Messplattform EMED-SF4 verwendet, die ebenerdig in einen fünf Meter langen und einen Meter breiten Laufsteg eingelassen war (siehe Abbildung 3). Diese war mit einer dünnen schwarzen Folie bedeckt und damit dem Laufsteg optisch angepasst.

In Anlehnung an Schaff et al. (1987) wurde der Startpunkt auf dem Laufsteg so gewählt, dass die Messplattform nach drei Schritten Anlaufstrecke unbewusst betreten wurde. Zwischen dem zweiten und vierten Schritt habe man einen gleichmäßigen Gang erreicht (Mann et al. (1979), Miller et al. (1996)). Der Kontakt mit der Messfläche musste unbewusst erfolgen, um nicht eine Verfälschung der Messdaten herbeizuführen.

Auf eine Vorgabe im Sinne einer fest vorgeschriebenen Laufgeschwindigkeit wurde verzichtet. Dies widerspricht dem natürlichen Gang der Person und kann zu Abweichungen des normalen Gangmusters führen. Ferner haben Studien von Clarke (1980) gezeigt, dass eine Erhöhung der Ganggeschwindigkeit von 1,33 m/s auf 1,79 m/s (entspricht einer Erhöhung von ungefähr 33%) nur zu einer Zunahme des Maximaldruckes in allen Fußregionen von 7,2% führe.

In Anlehnung an Hennig et al. (1994) und Bus et al. (2005) wählten die Personen ihre eigene Laufgeschwindigkeit.

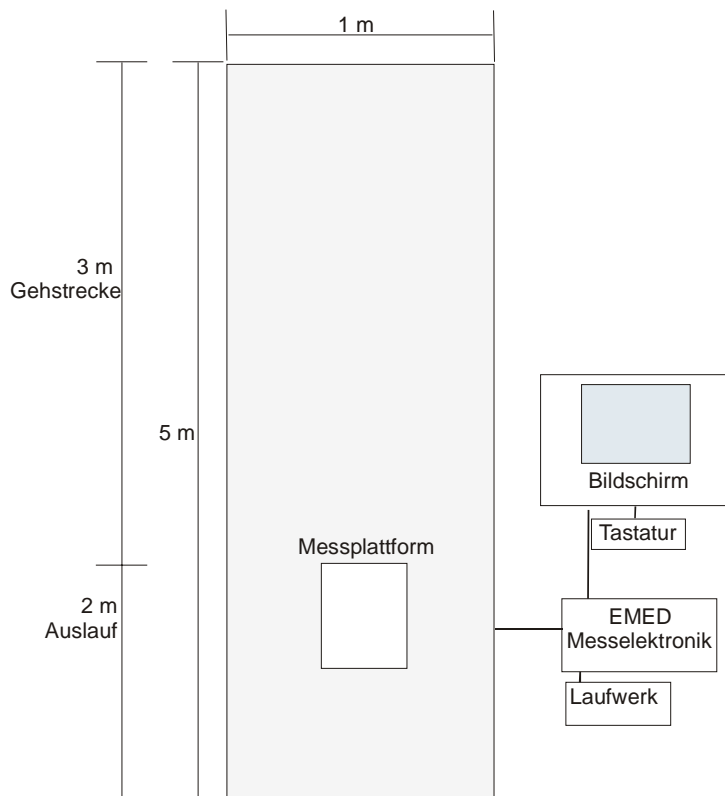


Abbildung 3 Schematischer Aufbau der EMED-SF-Messanlage

Bevor die Messungen aufgezeichnet wurden, liefen die Personen ein paar Mal probeweise über den Laufsteg, um sich vertraut zu machen.

Insgesamt wurden mindestens drei Abdrücke je Seite pro Person aufgezeichnet. Nach Hughes et al. (1991) ergeben sich Reliabilitätskoeffizienten von 0,971 für die Fußfläche, 0,954 für die Bodenreaktionskraft, 0,981 für die Impulswerte, 0,904 für den Maximaldruck und 0,886 für das Druck-Zeit-Integral. Hughes et al. (1991) empfehlen mindestens drei Messungen durchzuführen.

In Anlehnung an Margotti et al. (1992) wurde die Tageszeit nicht berücksichtigt, da sie keinen wesentlichen Effekt auf die Pedographie ausübe.

2.3. Datenaufbereitung

2.3.1. Multimask (Novel)

Das Programm Multimask war ein Softwarepaket der Novel GmbH (München). Mit diesem konnten die erhobenen Daten weiter ausgewertet werden.

Der Fußabdruck konnte hier in Regions of Interest (RoI) eingeteilt werden. Diese RoI konnten somit getrennt ausgewertet werden.

Das Programm zeigte folgende Parameter, die sowohl insgesamt, als auch für die einzelnen Rol getrennt angegeben werden konnten:

- visueller Abrollvorgang
- Ganglinie (Kraftverlauf des Kraftangriffpunktes in den X/Y – Koordinaten)
- belastete Fläche [cm^2]
- maximale Kraft mit Dauer [%Körpergewicht bzw. ms bzw. in % der Gesamtdauer der Bodenkontaktphase des Rol]
- Spitzendruck [N/cm^2 bzw. ms bzw. in % der Gesamtdauer der Bodenkontaktphase des Rol]
- Dauer der Bodenkontaktphase [ms bzw. % der Gesamtbelastungszeit]
- Druck-Zeit-Integral [Ns/cm^2]
- Kraft-Zeit-Integral [%KGs]

Mehrere Messungen konnten zusammen gefasst und gemittelt werden, wobei der minimale, maximale Wert, der Mittelwert, die Varianz und die Standardabweichung mit ausgegeben wurden.

Mit Hilfe des Programms konnten die einzelnen gespeicherten Bilder über die Dauer des Gesamtabrollvorganges (circa 60 Bilder) betrachtet werden. Hierbei wurden visuell auf Fußdeformitäten und Auffälligkeiten der drei Fußabrollvorgänge rechts und links im Seitenvergleich geachtet.

Cavanagh et al. (1987) teilen den Fußabdruck in zehn anatomische Gebiete ein. Hennig et al. (1993) weisen darauf hin, dass bei einer streng vorgegebenen geometrischen Einteilung es vorkommen kann, dass die definierten anatomischen Regionen bei Fußformabweichungen nicht der tatsächlichen Lage der anatomischen Strukturen entsprechen und Fußformabweichungen relativ häufig vorkommen. Becker et al. (1997) suchen in acht Regionen die Einzelsensoren mit den höchsten Drücken auf und markierten diese mit dem Cursor.

Deshalb wurde in Anlehnung an Hennig et al. (1993) und Becker et al. (1997) eine individuelle visuelle Zuordnung der Rol an die entsprechenden anatomischen Gegebenheiten vorgenommen. Der Fuß wurde in acht Regionen (Rol) mit Multimask eingeteilt: Ferse zentral (FZ), Ferse medial (FM), Ferse lateral (FL), Gewölbemitte (GM) (entspricht dem lateralen Fußgewölbe), Metatarsalköpfchen 1 (M1), 2/3 (M2/3), 5 (M5), sowie Hallux (H).

2.3.2. Excel (Microsoft) und SPSS

Die erfassten Daten wurden im ASCII – Format abgespeichert. Es erfolgte eine Übernahme dieser in das Programm Excel von Microsoft. Manuell wurde die Tabelle formatiert, so dass die Daten weiterverwendet werden konnten. Mit dieser Software wurde auch die Datenweiterverarbeitung und ein Teil der Statistik erstellt. Für die Statistik und für Grafiken wurde vor allem SPSS Version 12.0.1 verwendet.

2.4. Datenweiterverarbeitung

Allgemein:

Aus allen erhaltenen Parameterwerten der drei Fußabrollbewegungen pro Beinseite wurden die Mittelwerte berechnet. Diese Mittelwerte der einzelnen Parameter wurden für die weiteren, unten aufgeführten Berechnungen verwendet bzw. ausgegeben. Die Ausnahmen stellten die Relativimpulse und die Bodenreaktionskraft dar (siehe unten).

Bodenreaktionskraft:

Die Bodenreaktionskraft wurde zur besseren Vergleichbarkeit auf das Körpergewicht [%KG] bezogen.

Die Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft über die Zeit wurde für die einzelnen Gruppen graphisch ausgegeben. Die Verwendung nur der Mittelwerte der drei Abrollvorgänge je Beinseite pro Person war software-technisch nicht möglich, so dass alle drei Abrollwerte pro Beinseite pro Person gruppenweise verwendet wurden. So erhielt man teilweise Graphiken mit nur einem Patienten, in der Mittelwert und Standardabweichung dargestellt wurde.

In der Graphik der Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft findet sich typischerweise ein 1. und ein 2. Maximum. Ein Beispiel findet sich in Graphik 5 im Abschnitt 3.5.3 der Ergebnisse.

Ferner wurden die absoluten Maxima der Bodenreaktionskraft (TOTAL) tabellarisch angegeben. Hierbei handelt es sich um die Kraft [%KG] des Abrollvorganges, die als Maximum registriert wurde. Diese wird auch als Spitzenkraft bezeichnet.

Zur Betrachtung der Fläche in der Graphik der Bodenreaktionskraft über die Zeit wurden die Integrale gebildet (=Impulswert).

Relativimpulse:

Zur weiteren Verwendung kamen die lokalen Impulse über den acht zuvor markierten Rol. Der Impuls ist als das Integral der Kraft über die Zeit (= Kraft-Zeit-Integral) [%KGs] definiert. Aus diesen acht Impulswerten wurden die Relativimpulse (RI) bestimmt:

$$RI_i = \text{Impulswert}_i (i=1;\dots;8) / \Sigma(\text{mit } n=1 \text{ bis } 8) \text{ Impulswert}_n [\%]$$

Der Vorteil der RI liegt darin, dass sie den Vergleich der drei verschiedenen Abrollvorgänge je Seite der Belastungsverteilung aus den acht unterschiedlichen Regionen erlauben. Sie sind von der Höhe der gemessenen Druckmaxima unabhängig (Becker et al. (1997)). Damit kann man die drei Abrollvorgänge pro untersuchte Beinseite addieren bzw. vergleichen.

Aus diesen RI wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung aus den drei Abrollvorgängen je Beinseite für jeden Rol (H, M1, M2/3, M5, GM, FL, FZ, FM) berechnet.

Durch Summieren der Mittelwerte der lateralen, zentralen und medialen Fersen-Relativimpulse (RI von FL, FZ, FM) wurde der komplette Fersenimpuls (RI von FK) bestimmt.

Bodenkontaktzeit, Fußfläche und Maximaldruck:

Der Mittelwert und die Streubreite wurden auch für die Bodenkontaktzeit [ms], die Fußfläche [cm²] und für den Maximaldruckwert [N/cm²] bestimmt. Der Maximaldruckwert bezieht sich auf den größten Wert, der während des gesamten Bodenkontaktes aufgetreten ist und entspricht dem Spitzendruck.

Der Spitzendruck wird aufgrund der Relativimpulse relativiert. Er beschreibt, wie stark der Patient bzw. Proband aufgetreten ist. In indirektem Maße ist dieser als möglicher Faktor dienlich, um die Ähnlichkeit der drei Abrollvorgänge besser zu vergleichen.

Der Maximaldruck wurde für die acht Rol ausgegeben. Die Fußfläche und die Bodenkontaktzeit wurden nur insgesamt (TOTAL) betrachtet. Auf die Ausgabe in Rol wurde verzichtet.

Mediolaterale Belastungsfaktor MLF:

Zur weiteren Beurteilung wurde der mediolaterale Belastungsfaktor MLF nach Becker et al. (1997) verwendet:

$$MLF = (RI_{FM} + RI_{M1} + RI_H) / (RI_{FL} + RI_{GM} + RI_{M5}) []$$

Der MLF nimmt bei einem stärker lateral belasteten Fuß ab und zeigt somit eine Lateralisationstendenz an und umgekehrt (Abbildung 4). Als mögliche Gründe sind ein mangelnder skelettligamentärer Zusammenhalt, sowie ein muskuläres Ungleichgewicht zu nennen.

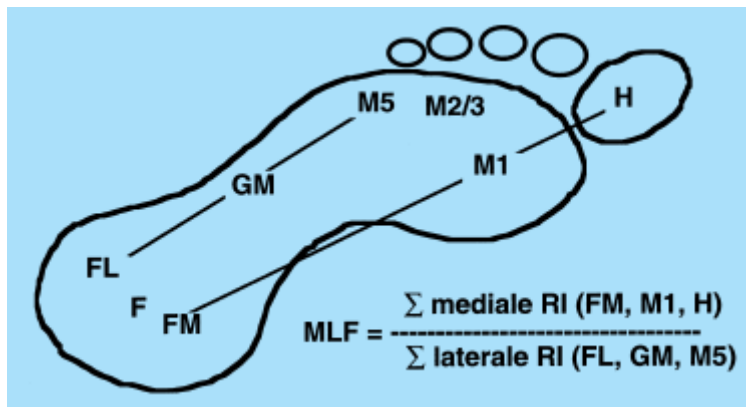


Abbildung 4 MLF
aus Becker et al. (1997)

Symmetrie-Index SI:

Neben dem mediolateralen Belastungsfaktor wurde die Asymmetrie im Fußabdruck erfasst. Dies erfolgte durch den Symmetrie-Index (SI) [%], der von Robinson et al. (1987) definiert wurde und seitdem öfters Verwendung fand (zum Beispiel Herzog et al. (1989); Becker et al. (1995)):

$$SI = (X1 - X2) / (\frac{1}{2} * (X1 + X2)) \text{ [%]}$$

mit X1 = Wert des verletzten (Patient) bzw. des linken Beines (Proband)

X2 = Wert des unverletzten (Patient) bzw. des rechten Beines (Proband)

Der Idealwert Null für den Symmetrie-Index besagt, dass keinerlei Unterschied zwischen den Werten beider Beine besteht. Somit wird eine perfekte Symmetrie angenommen. Ein negativer SI weist darauf hin, dass die verletzte (Patient) bzw. linke (Proband) Seite entlastet bzw. die unverletzte (rechte) Seite verstärkt belastet wird.

Der Symmetrie-Index kann die Werte [-2;2] annehmen. Beispielwerte für den SI mit Abhängigkeiten von X1 und X2 finden sich in Tabelle 7.

Der Vorteil liegt in der Betrachtungsmöglichkeit beider Beinseiten. Der Symmetrie-Index der Patienten kann gut mit dem SI-Wert der Probanden verglichen werden.

| SI-Wert | X1; X2 |
|---------|--|
| -200% | X1 = 0 oder X2 gegen unendlich (theoretisch) |
| -100% | 3 * X1 = X2 |
| -50% | X1 = 0,6 * X2 |
| 0 | X1 = X2 |
| 50% | 0,6 * X1 = X2 |
| 100% | X1 = 3 * X2 |
| 150% | X1 = 7 * X2 |
| 200% | X2 = 0 oder X1 gegen unendlich (theoretisch) |

Tabelle 7 SI-Wert und Verhältnis X1 zu X2

Vorfußindex FFI:

Um eine Asymmetrie zwischen der Metatarsalregion und dem Hallux der beiden Fußabdrücke pro Person im Vergleich zu finden, wurde der Vorfußindex FFI [] nach Becker et al. (1995) verwendet:

$$FFI = (RI_{M1} + RI_{M2/3} + RI_{M5}) / (RI_H) []$$

Ein geringer FFI-Wert gibt eine relativ vermehrte Belastung der Großzehe im Vergleich zu der Metatarsalregion an.

Vorfuß-Fersen-Index VFI:

Analog zum FFI wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Vorfuß-Fersen-Index VFI definiert:

$$VFI = (RI_{M1} + RI_{M2/3} + RI_{M5}) / (RI_{FK}) []$$

Dieser Index zeigt das relative Verhältnis der Metatarsalregion zur Ferse (mit FK = FL + FZ + FM) an. Hier gilt, dass bei zunehmender Belastung der Ferse im Vergleich zur Metatarsalregion der VFI kleiner wird und umgekehrt.

Clinical-Score:

Damit die pedographischen Daten mit dem klinischen Ergebnis besser verknüpft werden konnten, wurde ein Clinical Score verwendet. Hierzu wurde der Phillips-Clinical-Score nach Phillips et al. (1985) in Anlehnung an Mazur et al. (1979) modifiziert und den jugendlichen Patienten angepasst (Abbildung 5 im Anhang). Insgesamt konnten 100 Punkte erreicht werden. Je höher der Punktestand ausfiel, desto besser war das klinische Ergebnis. 75 und mehr Punkte wurden als gutes Ergebnis gewertet. Somit konnte die Patientengruppe weiter unterteilt und die pedographischen Daten konnten besser verglichen werden.

Statistische Auswertung:

Es wurden die Mittelwerte mit Standardabweichung berechnet.

In der Regel wurden die Altersbereiche getrennt betrachtet. Bei den Patienten und Probanden erfolgte die deskriptive Betrachtung im Links-Rechts-Vergleich bzw. verletztes Bein zum gesunden.

Für intraindividuelle, verbundene Vergleiche wurde der Wilcoxon-Test verwendet. Hingegen wurde für die Vergleiche der Symmetrie-Indices zwischen der Patienten- und der Probandengruppe der Mann-Whitney-U-Test benützt.

Auf eine reine Angabe in nicht signifikant, signifikant und hoch signifikant wurde aufgrund des „Multiplen Testens“ verzichtet. Die p-Werte sind den Tabellen und dem Text zu entnehmen.

Auf eine Verwendung der t-Tests wurde aufgrund der Fallzahlen in den Untergruppen verzichtet.

Bei geringer Fallzahl (N=3, N=2, N=1) wurden keine statistischen Tests benützt. Es erfolgte in diesen Gruppen die deskriptive Beschreibung intra- und interindividuell.

3. Ergebnisse

3.1. Clinical Score

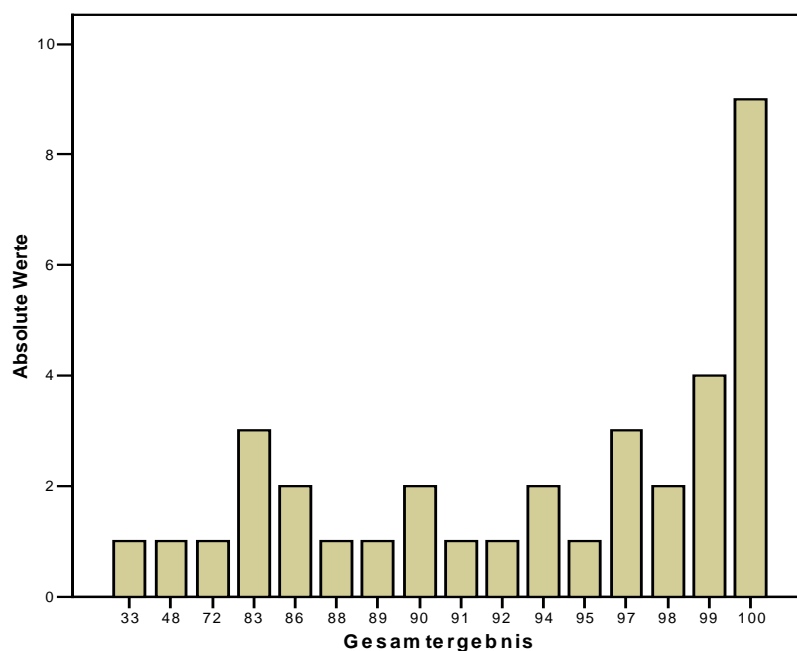
Bevor auf den Fragebogen, die klinische Untersuchung und die Ergebnisse der Pedographie genauer eingegangen wird, werden die Ergebnisse des Clinical Score aufgezeigt. Hiermit lassen sich in den kommenden Daten Separationen der guten und der schlechten klinischen Ergebnisse vornehmen.

Insgesamt erreichen 32 Leute mehr als 75 Punkte, was als gutes klinisches Resultat gilt. Zwei Patienten, die aufgrund Zeitmangels hauptsächlich nur pedographisch untersucht wurden, werden ebenfalls in der Auswertung der pedographischen Daten mit gutem klinischem Ergebnis beurteilt. Beide gaben absolute Beschwerdefreiheit und sportliche Belastbarkeit an. Drei Patienten erreichen ein schlechtes klinisches Bild. Somit konnten 34 von 37 Patienten (92%) zufriedenstellend behandelt werden (Tabelle 8; Graphik 1).

| N=35 | Minimum | Maximum | Mittelwert | SD |
|----------------|---------|---------|------------|------|
| Objektiv | 2 | 24 | 20,8 | 4,3 |
| Subjektiv | 31 | 76 | 70 | 10,9 |
| Gesamtergebnis | 33 | 100 | 90,9 | 14,4 |

| N=35 | Mittelwert | SD |
|----------------------|------------|------|
| Gesamtergebnis: | 90,9 | 14,4 |
| Gutes Ergebnis: | 94,6 | 5,9 |
| Schlechtes Ergebnis: | 51 | 19,7 |

Tabelle 8 Clinical Score mit Untergruppen



Graphik 1 Gesamtergebnis des Clinical Score

3.2. Fragebogen

3.2.1. Patienten mit gutem Outcome (N=32):

Es erfolgt zuerst die Betrachtung der Personen mit gutem Outcome:

Über den Unfallhergang wurde bereits unter 2.1.2 des Methodikteiles berichtet.

Alle 32 Personen (100%) geben an, mit der Therapie zufrieden gewesen zu sein.

24 Patienten (75%) betreiben zum Untersuchungszeitpunkt Sport, acht geben an, nicht regelmäßig Sport auszuüben, unter diesen acht sind sieben (22%), die sich gar nicht sportlich betätigen. Insgesamt werden im Mittel hier 4,4 ($\pm 5,6$) Stunden Sport pro Woche ausgeübt. Drei Personen (9%) üben nach eigenen Angaben 20 Stunden pro Woche aus. Die Zeitangaben sind Schätzungswerte. 29 (91%) geben gleiche Belastbarkeit des Sprunggelenkes/Fußes im Vergleich zur anderen Seite an, drei (9%) haben Probleme auf der operierten Seite.

Gelenkblockierungen und Instabilitätsgefühle gibt keiner an.

Hingegen sind nur 25 Patienten schmerzfrei. 22% geben Schmerzen an. Krafteinschränkungen liegen nur bei einem (3%) beim Laufen / Springen vor. Aufgrund der Verletzung können zwei Personen (6%) zuvor ausgeübte Sportarten nicht mehr fortführen. Ferner beendete ein Patient den Fußballsport, weil dieser zu gefährlich sei.

Dasselbe sportliche Level können 19 Patienten (59%) erreichen. Sieben (22%) weitere meinen, das es sogar besser sei als vor der Verletzung. Sechs (19%) stufen es schlechter als zuvor ein.

Eine Veränderung des Lebens zog die Verletzung in der Patientengruppe mit gutem klinischen Ergebnis nicht nach sich.

Einer zog sich fünf Jahre zuvor auf der verletzten Sprunggelenksseite eine Mittelfußfraktur zu, die konservativ behandelt wurde; ein weiterer hatte fünf Jahre zuvor einen Bruch auf der später verletzten operierten Seite, der mit Unterschenkelgips behandelt wurde. Ein weiterer zog sich sieben Jahr vor der Sprunggelenksverletzung eine II° offene, komplette Unterschenkelfraktur auf der später verletzten Sprunggelenksseite zu. Zwei Patienten geben an, Jahre zuvor auf der später verletzten Seite eine Außenband-Distorsion sich einmal vor der Fraktur zugezogen zu haben.

Probleme mit dem Rücken (Rückenschmerzen bzw. Skoliose) haben vier Patienten. Eine Person gibt an, ein Jahr vor der Nachuntersuchung zweimalig beidseits Patellaluxationen gehabt zu haben. Probleme mit den Knien haben insgesamt drei

Nachuntersuchte, v.a. auf der zuvor verletzten Beinseite. Zwei Jahre vor der Fraktur zog sich ein Patient der später verletzten Sprunggelenksseite einen Kreuzbandriss zu, der konservativ behandelt wurde. Ein weiterer Patient gibt an, bei Beinlängendifferenzen mit Skoliose Knieprobleme zu haben, wenn er auf einen Ball schlage. Er könne dann zwei Tage lang das Bein nicht ausstrecken.

Ein Patient hatte eine Hüftdysplasie, die mit Spreizhose ausbehandelt wurde.

Schmerzen beim Treppensteigen bzw. beim Aufstehen von einem Stuhl geben zwei Personen (6%) an.

Die Befragung zum Koordinationsgefühl liefert folgendes: Bei 28 (88%) Patienten gibt es keine Veränderungen.

Hautveränderungen nehmen vier Personen (13%) war: einmal geringe Keloidbildung, einmal „eingedellte“ Narben, sowie zweimal bräunlich-dunkle Pigmentveränderungen.

29 (91%) geben an, Rechtshänder zu sein, drei (9%) seien linkshändig. Hingegen sind 27 (93%) mit dem rechten Bein geschickter, fünf (16%) links. 26 (81%) sind mit dem gleichen Bein geschickter wie die Händigkeit, sechs (19%) anders herum.

23 Personen (72%) haben noch nie orthopädische Einlagen gehabt. Sportbandagen tragen fünf Leute (16%) gelegentlich. Einer davon auf der nicht verletzten Seite.

Eine Person gibt an, sieben Jahre zuvor auf der gleichen Sprunggelenksseite eine Fraktur erlitten zu haben, die operativ versorgt wurde. Ein Patient leidet unter Phenylketonurie.

Eine Person sagt, dass er Industriemechaniker werden wollte. Sein Orthopäde hatte ihm davon abgeraten. Später habe er wegen Rückenschmerzen umgeschult.

3.2.2. Patienten mit schlechtem Outcome (N=3):

Alle drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis (100%) sind mit der Therapie zufrieden.

Keinen Sport betreiben zwei Patienten (66%). Einer (32) ist vom Sport befreit. Der Patient 37 habe keine Zeit mehr für Sport. Nur einer (31) betreibt Schulsport, insgesamt im Schnitt drei Stunden pro Woche.

Die Belastbarkeit des Sprunggelenkes bzw. Fußes ist bei allen dreien (100%) gemindert auf der ehemals frakturierten Beinseite.

Beweglichkeitseinschränkungen haben zwei (66%). Gelenkblockierungen liegt bei 37 im Sinne einer posttraumatischen nicht operativen iatrogenen Arthrodese vor, bei einem anderen (32) ist die Beweglichkeit eingeschränkt.

Instabilitätsgefühle finden sich nur bei einem (32) im Sinne häufigen Umknickens, vor allem beim treppab Gehen.

Schmerzen geben alle drei (100%) an. Bei dem Patient 31 bestehen diese für kurze Dauer im ehemals verletzten Sprunggelenkbereich nach längerem Gehen und Stehen, beim Treppensteigen bzw. beim alleinigen Stehen auf diesem Fuß, sowie wetterbedingt. Bei 32 treten diese zeitweise abrupt auf bzw. beim Laufen, Treppensteigen, beim Aufstehen von einem Stuhl, bei Bewegungen oder Stehen, seien längere Zeit andauernd und zum Teil im Sprunggelenk lokalisiert. Diese bestehen seit vier Jahren. 37 gibt Schmerzen an, die manchmal das komplette (frakturierte) Bein betreffen und meistens in der Nacht auftreten bzw. nach langem Gehen über eine Strecke von mindestens einem Kilometer oder beim Treppensteigen. Er gibt an, sein verletztes Bein sei ein Zentimeter kürzer und er habe auch im rechten Knie und in der rechten Hüfte Schmerzen.

Auch Kräfteinschränkungen geben alle drei (100%) an.

Dasselbe sportliche Level kann keiner (100%) mehr erreichen wie zuvor. 31 musste nur Inline-Skaten aufgeben, alles andere sei möglich, wenn auch ein bisschen eingeschränkt. 32 habe Ballett wegen der Verletzung aufgehört. 37 gab das Fußballspielen im Verein und Basketball auf, könne aber in der Freizeit noch Fußball spielen.

Auch verletzungsbedingte Veränderungen im Leben müssen alle hinnehmen: 31 habe an einer Psychotherapie teilgenommen, die sportlichen Möglichkeiten seien eingeschränkt. Ferner werde Rente gezahlt. Seit drei Jahren werden außerdem noch Krankengymnastikstunden zweimal pro Woche besucht. 32 habe den Sport aufgehört. Bei 37 sei das Gehen wie früher nicht mehr so möglich. Ebenso sei der Sport nicht mehr wie zuvor ausübbar. Es musste auch der Beruf umgelernt werden.

Andere Frakturen hatte keiner (100%).

Einer (37) (33%) beklagt öfters am ehemals verwundeten Bein Entzündungen gehabt zu haben, die aber seit einem Jahr nicht mehr auftraten.

Probleme mit der Wirbelsäule gibt keiner an.

Das Koordinationsgefühl sei bei zwei Patienten (66%) auf der jeweiligen verletzten Seite schlechter, nur bei 32 gleich.

Hautveränderungen bestehen bei zweien: 31 bemerkt leichte bräunliche Pigmentierungen über der Ventralseite des frakturierten Sprunggelenks. 37 gibt an, Hautveränderungen aufgrund der Hauttransplantate und der Narben zu haben.

Orthopädische Hilfsmittel haben zwei Patienten (66%). Seit der Verletzung trage 31 Sprunggelenksbandagen, die immer getragen werden sollten. Nr. 37 habe orthopädische Schuhe, die er aber nur manchmal (2-3 mal pro Jahr) an habe, da sie komisch aussehen würden.

Andere Operationen lagen bei den dreien nicht vor. 32 gibt jedoch an, dass ärztlicherseits eine Arthrose in dem einst verletzten oberen Sprunggelenk diagnostiziert wurde.

3.3. Klinische Untersuchung

In diesem Abschnitt wird nur auf wesentliche pathologische Befunde der klinischen Untersuchung eingegangen, abgesehen von der Neutral-Null-Messung.

Inspektion und Palpation:

Konturverlust findet sich zweimalig (6% insgesamt; 66% bei Personen mit schlechtem klinischen Ergebnis). Bei Nr. 37 (schlechtes klinisches Ergebnis) findet sich ein Konturverlust und Asymmetrie des rechten Beines aufgrund der Narbenkontrakturen, sowie leichte trophische Nagelveränderungen Digitus eins bis drei rechtsseitig. Bei 31 (schlechtes Outcome) findet sich ein geringer Konturverlust im Übergangsbereich der Wadenmuskulatur zur Achillessehne im Übergang zum Malleolus lateralis links bedingt durch eine 12 cm lange vertikale Narbe über dem Malleolus lateralis links.

Beidseitige Senkfüße werden insgesamt acht mal (23%) angetroffen, darunter finden sich alle drei Patienten (100%) mit schlechtem Clinical score. Knicksenkfüße (Pes planovalgus) gibt es zweimal (6%) (gutes klinisches Ergebnis). Bei dem Patient 31 findet sich ein beginnender Hallux valgus rechts mehr als links. Bei 37 zeigen die Zehen zwei und vier zur dritten rechts. Digitus drei rechts liegt über der zweiten und vierten.

Beinlängendifferenzen werden ab einer Differenz von mehr als 0,5 cm angegeben: Sechs (17%) Patienten (mit gutem klinischen Ergebnis) weisen eine Differenz von einem Zentimeter auf, einer von 1,5 cm (Patient 15), einer von 2 cm (Patient 36) und einer von 2,5 cm (Patient 37). Insgesamt können bei 26% der Patienten Differenzen

von mehr als einem halben Zentimeter gefunden werden. Relative Verkürzung des gebrochenen Beines finden sich bei fünf (14%) Patienten, relative Verlängerungen bei vier (11%). Die Beinlängendifferenz bei den Patienten mit einem Zentimeter Unterschied kann bei zweien mit 0,45 cm-Brettchen ausgeglichen werden. Bei dem Patienten Nr. 15 mit 1,5 cm Unterschied kann ebenfalls ein Ausgleich mit 0,45 cm erfolgen. Bei Patient Nr. 37 gelingt dieser mit der Unterlage eines 1 cm-Brettchens. Bei Patient Nummer 31 findet sich ein verstrichenes Sprunggelenk auf der ehemals frakturierten Beinseite.

Die Person Nr. 37 kann die Zehen nicht heben und senken auf der verletzten Beinseite.

Funktionsprüfung der Gelenke – Neutral-0°-Methode:

Die Werte der Neutral-Null-Messung der Patienten mit gutem klinischen Ergebnis können Tabelle 9 entnommen werden. In dieser Berechnung ist der Patient mit der doppelseitigen Fraktur herausgenommen worden, um die Seitenvergleichbarkeit zwischen unverletzter und verletzter Extremität besser darstellen zu können.

Bis auf die Eversion liegen alle Werte im Normbereich (Tabelle 10).

| Knie | | | OSG | | | Fuß | | |
|-------|-----------------|------|---------|--------|------|------------|-----------|-------|
| Flex | Ext | | Plantar | Dorsal | | Eversion | Inversion | |
| 144,4 | 0 | 7,5 | 44,1 | 0 | 25,1 | 20,6 | 0 | 56,2 |
| (6,7 | 0 | 2,8) | (8,0 | 0 | 6,1) | (6,4 | 0 | 11,4) |
| 144,6 | 0 | 7,1 | 46,8 | 0 | 26,8 | 21,5 | 0 | 59,4 |
| (7,4 | 0 | 3,0) | (5,2 | 0 | 5,2) | (5,0 | 0 | 7,2) |
| = | verletzte Seite | | | | | Mittelwert | | |
| = | Gesunde Seite | | | | | (± SD) | | |

Tabelle 9 Patienten Neutral-Null-Messung [°] (N=34)

| Knie | | | OSG | | | Fuß | | |
|-----------|-----|--------|---------|--------|---------|----------|-----------|----|
| Flex | Ext | | Plantar | Dorsal | | Eversion | Inversion | |
| 120 - 150 | 0 | 5 - 10 | 40 - 50 | 0 | 20 - 30 | 30 | 0 | 60 |

Tabelle 10 Normbereiche der Neutral-Null-Messung [°]

Auch bei den Probanden finden sich alle Werte im Normbereich, bis auf die Eversion. Dieser ist wie bei den Patienten erniedrigt (Eversion/Inversion 23,6 ±6,1 / 0 / 62,0 ±6,5° rechts; 23,4 ±5,1° / 0 / 60,6 ±5,7° links, N=43).

Die Werte der Neutral-Null-Messung gehen in den Clinical-Score mit ein. Bei den drei Patienten mit dem schlechtem Ergebnis finden sich die Werte in Tabelle 11 wider.

Bei Patient 37 ist die Beweglichkeit im ehemals operativ versorgten Sprunggelenk aufgrund einer dort erfolgten Versteifung eingeschränkt. Die Dorsalextension scheint bei Patient 32 und 31 etwas vermindert zu sein auf der verletzten Seite.

| Pat. Nr. | Knie | | | OSG | | | Fuß | | |
|-------------|------|-----|----|---------|--------|----|----------|-----------|----|
| | Flex | Ext | | Plantar | Dorsal | | Eversion | Inversion | |
| 37 | 145 | 0 | 5 | 10 | 0 | 20 | 5 | 0 | 5 |
| | 150 | 0 | 5 | 40 | 0 | 30 | 25 | 0 | 50 |
| 32 | 150 | 0 | 10 | 50 | 0 | 15 | 15 | 0 | 60 |
| | 145 | 0 | 10 | 55 | 0 | 25 | 15 | 0 | 55 |
| 31 | 150 | 0 | 10 | 40 | 0 | 15 | 20 | 0 | 60 |
| | 150 | 0 | 10 | 50 | 0 | 35 | 20 | 0 | 70 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

= verletzte Seite
= Gesunde Seite

Tabelle 11 Patienten Neutral-Null-Messung [°] mit schlechtem Ergebnis

Patient Nr. 3 gibt ein Zuggefühl an der Achillessehne bei passiver Ab- und Adduktion des Calcaneus am frakturierten Sprunggelenk an. Patient Nr. 19 hat Bewegungsschmerzen am verletzten Bein an der linken Achillessehne. Pat. Nr. 21 gibt ein leichtes Ziehen bei Plantarflexion lateralseitig über dem Malleolus lateralis des ehemals gebrochenen Beines an. Es bestehe aber kein Schmerz.

Prüfung der Gelenkstabilität:

Schmerzen bei dieser Untersuchung haben zwei Patienten (6%). Bei dem Talusvorschub des verletzten Beines gibt ein Patient (Nr. 12) kurz andauernde Schmerzen an. Ein weiterer Patient (Nr. 6) gibt bei dem Varusstress zur Überprüfung der Aufklappbarkeit des Sprunggelenkes Schmerzen über der Narbe über dem Malleolus medialis der ehemals verletzten Beinseite an. Bei einem Patient (37) wird ein versteiftes ehemals verletztes Sprunggelenk dokumentiert. Ein weiterer (Nr. 12) bemerkt Knacksen beidseits im Sprunggelenk bei Fußbewegungen.

Komplexe Funktionsprüfung – klinische Ganganalyse:

Ein Patient (Nr. 37 mit schlechtem klinischen Ergebnis) hat ein Verkürzungshinken und ein Versteifungshinken in der Analyse des Ganges.

Der Zehenspitzenengang ist bei zwei Patienten (6% insgesamt, 66% von den Personen mit schlechtem Ergebnis) eingeschränkt: Patient Nr. 31 muss auf der ehemals verletzten Beinseite die Knie flektieren, um im Zehenspitzenengang gehen zu können.

Ferner ist bei Patient 37 ein Zehenspitzenengang nicht möglich. Einseitig gelingt es ihm, auf die Zehenspitzen des gesunden Beines sich zu stellen.

Auch der Fersengang ist bei zwei Leuten (66% der Personen mit schlechtem Ergebnis) eingeschränkt: Der Fersengang geht bei Patient 31 schwer. Der Patient müsse sich dabei konzentrieren. Patient 37 gelingt es nicht, den Fersengang auszuführen. Einseitig gelingt es ihm, auf die Ferse des gesunden Beines sich zu stellen.

Probleme beim Einbeinsprung haben insgesamt fünf Patienten (14% insgesamt, 100% der Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis). Der Einbeinsprung des verletzten Beines (Nr. 37) ist nicht möglich. Patient Nr. 10 gibt an, dass es hinter dem Malleolus medialis des ehemals verletzten Beines gezogen habe. Es bestehe kein Schmerz. Patient Nr. 6 hat geringe Schmerzen bei diesem Versuch über dem Malleolus medialis des frakturierten Sprunggelenkes. Auch Patient Nummer 32 gibt bei diesem Versuch geringe Schmerzen im ehemals verletzten Sprunggelenk an. Dem Patient Nr. 31 ist es eingeschränkt möglich den Einbeinsprung auf der verletzten Beinseite durchzuführen.

Ebenfalls fallen bei drei Personen Probleme bei der Hockstellung und beim Entengang auf (100% der Personen mit schlechtem Ergebnis): Bei dem Nackengriff in tiefer Hockstellung fällt bei Patient 31 auf, dass die Ferse des nicht gesunden Beines frühzeitig abhebe. Der Entengang ist nur erschwert möglich. Bei Patient 32 sind beide Tests (Hockstellung und Entengang) schmerzbedingt nicht möglich. Bei Patient Nummer 37 ist die Hockstellung durchführbar, aber nicht der Entengang.

Muskeln, Sehnen, Gelenke und Beweglichkeit:

Zwei Personen haben Gelenkkrepitationen: So liegt eine Kniegelenkskrepitation bei Patient Nummer 4 beidseitig vor. Bei Person Nr. 32 liegt eine Gelenkkrepitation im rechten Sprunggelenk bei der Untersuchung vor.

Zur Überprüfung der groben Kraft wird die Zeit im einseitigen Zehenstand gemessen. Nach Erreichen der Zielzeit von 60 Sekunden wird die Beinseite gewechselt. Es erfolgt ein vorzeitiger Abbruch bei starken Schmerzen bei drei Patienten (9%) (Nr. 6, 32, 37) (verletzte Seite) und bei Nr. 37 (gesunde Seite).

Leichte Beschwerden bei dem Test geben sieben (20%) Patienten mit gutem klinischen Ergebnis an.

Weiterer neurologischer Status:

Der PSR und ASR ist auf beiden Seiten bei allen Patienten bis auf Patient 37 auslösbar. Hier ist der ASR nicht möglich auf der versteiften Seite. Bei fast allen Patienten besteht eine Hypästhesie im Bereich der Narben, die unterschiedliche Ausdehnungen annehmen. Bei Patient Nummer 37 finden sich im rechten Unterschenkel Hyp- und Parästhesien.

3.4. Anthropometrische Daten:

An dieser Stelle wird auf die Tabellen 12 und 13 verwiesen.

Es wird statistisch das Alter, die Körpergröße, das Körpergewicht und der BMI der Patienten mit dem der Probanden in den drei Altersgruppen geprüft.

Es finden sich **signifikante** Unterschiede in der Altersgruppe 14 bis 17 Jahre im Körpergewicht ($p=0,048$) und im Body-Mass-Index ($p=0,016$), sowie in der Altersgruppe 18 bis 24 Jahre im Körpergewicht ($p=0,000$) und in der Körpergröße ($p=0,029$), sowie im BMI ($p=0,003$).

| Altersgruppe | Alter | Größe | Gewicht | BMI |
|--------------|-------|-------|---------|-------|
| 10-13 | 0,566 | 0,643 | 0,515 | 0,405 |
| 14-17 | 0,161 | 0,904 | 0,048 | 0,016 |
| 18-24 | 0,092 | 0,029 | 0,000 | 0,003 |

Tabelle 12 Mann-Whitney-U-Test für Patienten und Probanden, p-Werte

Patienten (Mittelwert±Standardabweichung)

| Alter | Geschlecht | Alter | Größe | Gewicht | BMI |
|-------|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 10-13 | Männlich (N=3) | 11,67±1,16 | 157,33±2,31 | 48,00±8,19 | 19,34±2,93 |
| | Insgesamt (N=3) | 11,67±1,16 | 157,33±2,31 | 48,00±8,19 | 19,34±2,93 |
| 14-17 | Männlich (N=7) | 15,86±1,46 | 176,71±6,58 | 76,86±9,63 | 24,67±3,26 |
| | Weiblich (N=11) | 16,00±1,1 | 168,00±5,73 | 61,73±10,25 | 21,82±3 |
| | Insgesamt (N=18) | 15,94±1,21 | 171,39±7,33 | 67,61±12,33 | 22,93±3,33 |
| 18-24 | Männlich (N=14) | 20,36±1,6 | 179,93±8,87 | 77,25±8,18 | 23,95±2,82 |
| | Weiblich (N=1) | 23 | 175 | 75 | 24,49 |
| | Insgesamt (N=15) | 20,53±1,69 | 179,60±8,64 | 77,10±8,64 | 23,98±8,64 |

Probanden (Mittelwert±Standardabweichung)

| Alter | Geschlecht | Alter | Größe | Gewicht | BMI |
|-------|-------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| 10-13 | M (N=5) | 11,40±1,14 | 155,00±4,47 | 42,40±8,99 | 17,68±3,88 |
| | W (N=4) | 11,00±1,15 | 158,25±11 | 45,50±8,66 | 18,09±2,21 |
| | Insgesamt (N=9) | 11,22±1,09 | 156,44±7,63 | 43,78±8,44 | 17,86±3,07 |
| 14-17 | M (N=5) | 15,20±0,45 | 175,50±2,52* | 63,20±7,19 | 20,77±2,54* |
| | W (N=6) | 15,50±1,22 | 168,17±4,49 | 54,50±5,24 | 19,25±1,37 |
| | Insgesamt (N=11) | 15,36±0,92 | 171,10±5,26* | 58,45±7,42 | 19,86±1,95* |
| 18-24 | M (N=7) | 22,57±2,15 | 182,00±7,9 | 76,86±8,21 | 23,16±1,47 |
| | W (N=19) | 21,16±1,86 | 169,15±7,24** | 58,74±6,86 | 20,49±1,9** |
| | Insgesamt (N=26) | 21,54±2,00 | 172,9±9,4** | 63,62±10,83 | 21,27±2,15** |

* = ein Wert fehlt

Tabelle 13 Anthropometrische Daten der Patienten und Probanden

Trotz des fast gleichen Alters sind die Patienten in allen drei Gruppen schwerer. In der ältesten Gruppe ist dies durch die größere Anzahl der Frauen bei den Probanden im Unterschied zu der einen Frau in der Patientengruppe zu erklären. In der mittleren Altersklasse ist das Verhältnis männlich zu weiblich ähnlich bei ähnlicher Körpergröße. Hier sind die Patienten trotzdem schwerer als die Kontrollgruppe.

Die pedographischen Ergebnisse werden intraindividuell und interindividuell betrachtet. Am wichtigsten wird der intra-personelle Vergleich erachtet. Trotz Abweichungen des Körpergewichtes in zwei Gruppen werden Unterschiede zu den Probanden aufgezeigt. Zu bedenken ist, dass Werte wie die Relativimpulse, MLF, FFI und VFI, sowie sämtliche Symmetrieindices im Prinzip vom Körpergewicht unabhängig sind und sich für Vergleiche zwischen Probanden und Patienten trotz unterschiedlichen Gewichtes gut eignen. Ferner geht in die Bodenreaktionskraft [%KG] und in die Impulswerte [%KGs] das Körpergewicht mit ein, so dass ein Vergleich ebenfalls sinnvoll ist.

3.5. Pedographie:

3.5.1. Fußfläche [cm²]:

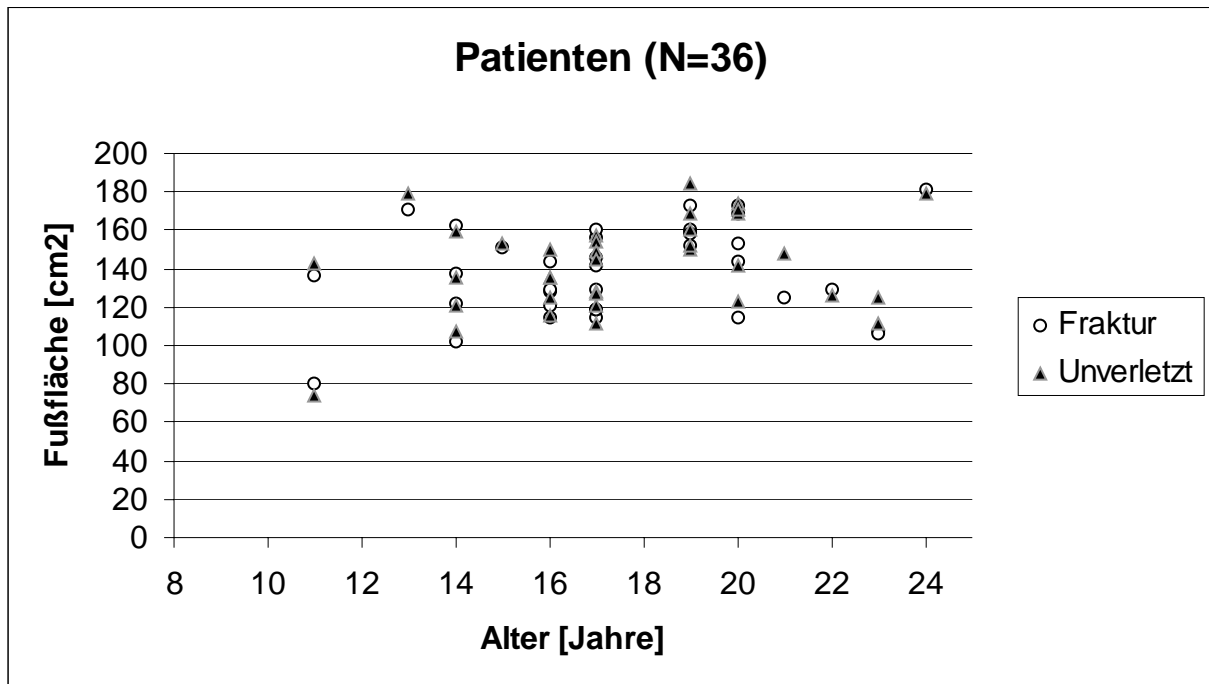
Die Fußfläche wird nur als Gesamtfläche und nicht für jeden einzelnen Rol betrachtet (Tabelle 14).

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD |
|---|---------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------|
| Probanden | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| 10 - 13 Jahre (N=9) | 111,78 | ± 10,14 | 0,624 | 113,33 | ± 8,48 |
| 14 - 17 Jahre (N=11) | 120,61 | ± 15,23 | 0,091 | 123,03 | ± 16,61 |
| 18 - 24 Jahre (N=26) | 123,62 | ± 15,27 | 0,677 | 123,01 | ± 16,74 |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| <i>gutes klin. Ergebnis</i> | | | | | |
| 10 - 13 Jahre (N=3)(8);(20);(23) | 80; 170,67; 136 | | | 73,67; 179,67; 142,33 | |
| 14 - 17 Jahre (N=17) | 133,83 | ± 17,85 | 0,124 | 136,16 | ± 16,25 |
| 18 - 24 Jahre (N=13) | 151,77 | ± 22,84 | 0,235 | 154,67 | ± 23,07 |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis</i> | | | | | |
| 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | 120,67 | | | 115,33 | |
| 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) | 107; 125,33 | | | 125; 148,33 | |

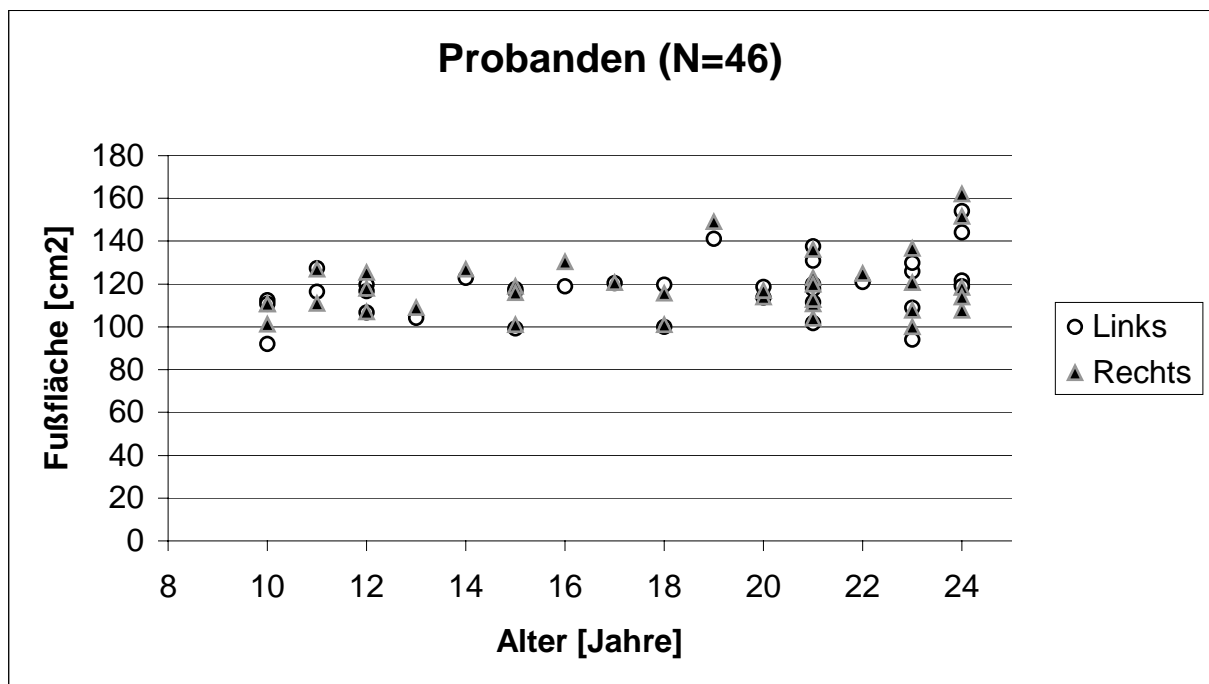
Tabelle 14 Fußfläche [cm²] Probanden und Patienten

Die Fußflächendifferenzen rechts-links aller Patienten liegen bei 6,63 (±4,86) cm² (Mittelwert±SD; N=36), und bei allen Probanden bei 4,05 (±3,45) cm² (Mittelwert±SD;

N=46). Die Patienten der 18 bis 24 Jährigen mit schlechtem klinischen Ergebnis zeigen jedoch Differenzen von 18 cm² (Patient Nr. 32) und von 23 cm² (Nr. 37).



Graphik 2 Fußfläche [cm²] und Alter [Jahre] aller Patienten



Graphik 3 Fußfläche [cm²] und Alter [Jahre] aller Probanden

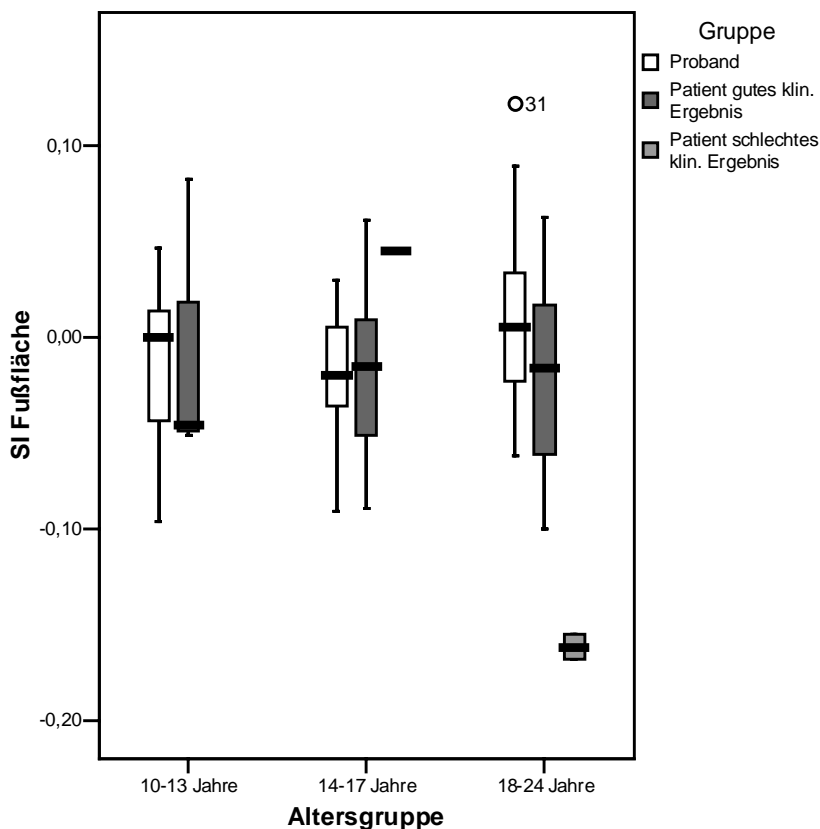
Die Fußfläche aller Probanden liegt links bei 120,6 cm² ± 14,8 cm² und rechts bei 121,1 cm² ± 15,6 cm² (N=46), die aller Patienten auf der Fraktur-Seite bei 138,5 cm² ± 23,9 cm² und auf der gesunden bei 141,9 cm² ± 24,1 cm² (N=36). Wie man der Graphik 3 entnehmen kann, liegen die meisten Werte zwischen 100 und 140 cm² bei den Probanden, bei den Patienten (Graphik 2) hingegen zwischen 100 und 170 cm².

Der Symmetrie-Index aller Patienten ist leicht negativ (-2,40 % (\pm 5,71%)) (Tabelle 15 und Graphik 4), wobei die beiden Patienten mit schlechtem klinischen Outcome in der Altersgruppe 18 bis 24 im Vergleich große negative Werte aufweisen (-15,5 % und -16,8%). Der negative Wert des SI besagt, dass die Fußfläche der verletzten Beinseite kleiner ist.

Betrachtet man nur die Patientengruppe mit gutem Clinical Score, so zeigt sich, dass die Patienten in allen drei Altersgruppen fast annähernde Symmetrie der Fußfläche aufweisen. Das gleiche gilt auch in den Altersbereichen der Probanden. Es ergeben sich keine Abweichungen der Symmetrie-Indices der 14-17 und der 18-24 Jährigen im Vergleich der Probanden mit den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis ($p=0,796$ bzw. $p=0,222$).

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD | Minimum | Maximum |
|---|---------------------------------|--------------|---------|---------|
| Probanden | | | | |
| 10 - 13 Jahre (N=9) | -1,52% | \pm 4,60% | -9,66% | 4,69% |
| 14 - 17 Jahre (N=11) | -1,90% | \pm 3,48% | -9,09% | 2,99% |
| 18 - 24 Jahre (N=26) | 0,61% | \pm 4,57% | -6,19% | 12,21% |
| alle zusammen (N=46) | -0,41% | \pm 4,41% | -9,66% | 12,21% |
| Patienten | | | | |
| <i>gutes klin. Ergebnis</i> | | | | |
| 10 - 13 Jahre (N=3)(8);(20);(23) | 8,24%; -5,14%; -4,55% | | | |
| 14 - 17 Jahre (N=17) | -1,88% | \pm 4,19% | -8,91% | 6,10% |
| 18 - 24 Jahre (N=13) | -1,94% | \pm 5,00% | -9,96% | 6,26% |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis</i> | | | | |
| 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | 4,52% | | | |
| 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) | -15,5%; -16,8% | | | |
| <i>insgesamt</i> | | | | |
| 14 - 17 Jahre (N=18) | -1,53% | \pm 4,33% | -8,91% | 6,10% |
| 18 - 24 Jahre (N=15) | -3,84% | \pm 6,82% | -16,81% | 6,26% |
| alle mit gutem Ergebnis (N=33) | -1,78% | \pm 4,68% | -9,96% | 8,24% |
| alle mit schlechtem Ergebnis (N=3) | -9,27% | \pm 11,96% | -16,81% | 4,52% |
| alle zusammen (N=36) | -2,40% | \pm 5,71% | -16,81% | 8,24% |

Tabelle 15 Symmetrie-Index Fußfläche [%]



Graphik 4 Boxplot, Symmetrie-Index Fußfläche []

Die Fußfläche der einzelnen Beinseiten der 10 bis 24 jährigen Patienten bzw. Probanden korreliert nicht signifikant ($p > 0,05$) mit dem Alter, selbst wenn man Untergruppen wie z.B. Patienten oder Probanden mit 10 bis 17 Jahre betrachtet (Korrelation nach Spearman).

3.5.2. Bodenkontaktzeit [ms]:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------|--------------|---------------------------------|----------|
| Probanden | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| 10 - 13 Jahre (N=9) | 799,26 | ± 92,64 | 0,440 | 780,00 | ± 57,64 |
| 14 - 17 Jahre (N=11) | 794,55 | ± 115,46 | 0,091 | 856,97 | ± 178,12 |
| 18 - 24 Jahre (N=26) | 840,38 | ± 84,77 | 0,011 | 879,23 | ± 104,94 |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| <i>gutes klin. Ergebnis</i> | | | | | |
| 10 - 13 Jahre (N=3)(8);(20);(23) | 640; 720; 833,33 | | | 806,67; 726,67; 800 | |
| 14 - 17 Jahre (N=17) | 917,06 | ± 287,15 | 0,379 | 850,98 | ± 126,07 |
| 18 - 24 Jahre (N=13) | 915,90 | ± 129,40 | 0,100 | 934,87 | ± 167,69 |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis</i> | | | | | |
| 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | 893,33 | | | 1213,33 | |
| 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) | 880; 826,67 | | | 860; 946,67 | |

Tabelle 16 Bodenkontaktzeit [ms]

In der Altersgruppe der 10 bis 13jährigen Patienten zeigen sich bei Patient Nr. 20 beidseits fast gleiche Kontaktzeiten (Tabelle 16) (SI 0,92%), analog auch bei Nr. 23 (SI 4,08%). Bei Person Nummer 8 ist eine stärkere Verkürzung der Kontaktzeit der verletzten Seite zu verzeichnen (SI -23,04%). Dies zeigt sich auch im Vergleich zu den Probanden dieser Altersklasse.

In der Altersgruppen der 14 bis 17jährigen Patienten findet sich eine leichte Erhöhung der Bodenkontaktzeit auf der gebrochenen Seite (n.s.), bei den 18-24jährigen Patienten auf der gesunden Seite (n.s.). Der Symmetrie-Index liegt bei der mittleren Altersgruppe bei 5,07% ($\pm 15,99\%$) und bei der ältesten bei -1,53% ($\pm 9,63\%$). Dies ist der Fall bei den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis.

Die Personen Nr. 31 und 37 mit schlechtem Outcome zeigen hingegen eine vermehrte Erhöhung der Bodenkontaktzeit auf der unverletzten Beinseite, Patient Nr. 32 nur geringst auf der unverletzten (SI (Pat. Nr. 31) -30,38%; SI (Pat. Nr. 32) 2,3%; SI (Pat Nr. 37) -13,53%).

Annähernd gleich ist die Zeit bei den 10-13 Jahre alten Probanden (n.s.) (SI 2,11% ($\pm 6,33\%$)). Die Probanden der 14 bis 17jährigen haben eine leichte Verkürzung der Zeit unter der linken Beinseite (n.s.) (SI -6,73% ($\pm 11,62\%$)). Bei der gesunden Vergleichsgruppe (18 bis 24 Jahre) liegt ebenfalls eine Verkürzung der Bodenkontaktzeit der linken Beinseite ($p=0,011$) vor (SI -4,34% ($\pm 7,2\%$)). Der Symmetrie-Index der 14 bis 17 Jahre alten Patienten unterscheidet sich von den der Probanden in diesem Altersbereich ($p=0,041$). In der ältesten Gruppe hingegen finden sich keine signifikanten Unterschiede.

3.5.3. Bodenreaktionskraft [%KG]:

Zuerst wird auf die Spitzenkraft (Tabelle 17) eingegangen. Später werden Verlaufskurven der Bodenreaktionskraft dargestellt.

In der jüngsten Patientengruppe finden sich bei Patient 8 annähernd gleiche Werte für die Spitzenkraft (SI -1,11%). Bei den Patienten 20 und 23 sind diese auf der verletzten Seite leicht erhöht (SI (Pat. 20) 8,60%; SI (Pat. 23) 6,02%). Nr. 23 zeigt wesentlich, Nr. 20 leicht erhöhte Werte beidseits im Vergleich zu den gleichaltrigen Probanden.

Bei den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis (14-17 Jahre) finden sich leicht erniedrigte Werte auf der verletzten Seite ($p=0,004$) (SI -2,46% $\pm 3,24\%$).

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD |
|---|---------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------|-------------|
| Probanden | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| 10 - 13 Jahre (N=9) | 149,87 | \pm 9,22 | 0,173 | 152,84 | \pm 9,40 |
| 14 - 17 Jahre (N=11) | 153,02 | \pm 13,80 | 0,594 | 154,21 | \pm 13,75 |
| 18 - 24 Jahre (N=26) | 151,89 | \pm 19,94 | 0,361 | 147,69 | \pm 7,39 |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| <i>gutes klin. Ergebnis</i> | | | | | |
| 10 - 13 Jahre (N=3)(8);(20);(23) | 133,17; 197,82; 243,10 | | | 134,65; 181,51; 228,89 | |
| 14 - 17 Jahre (N=17) | 152,64 | \pm 10,25 | 0,004 | 156,47 | \pm 10,97 |
| 18 - 24 Jahre (N=13) | 147,68 | \pm 11,03 | 0,046 | 144,27 | \pm 9,03 |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis</i> | | | | | |
| 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | 150,65 | | | 152,15 | |
| 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) | 132,74; 136,39 | | | 132,79; 141,06 | |

Tabelle 17 Werte (TOTAL) der Bodenreaktionskraft [%KG]

In der ältesten Patientengruppe mit gutem Outcome liegt hingegen eine geringe Erhöhung der Spitzenkraft auf der verletzten Seite vor ($p=0,046$) (SI $2,27\% \pm 4,38\%$).

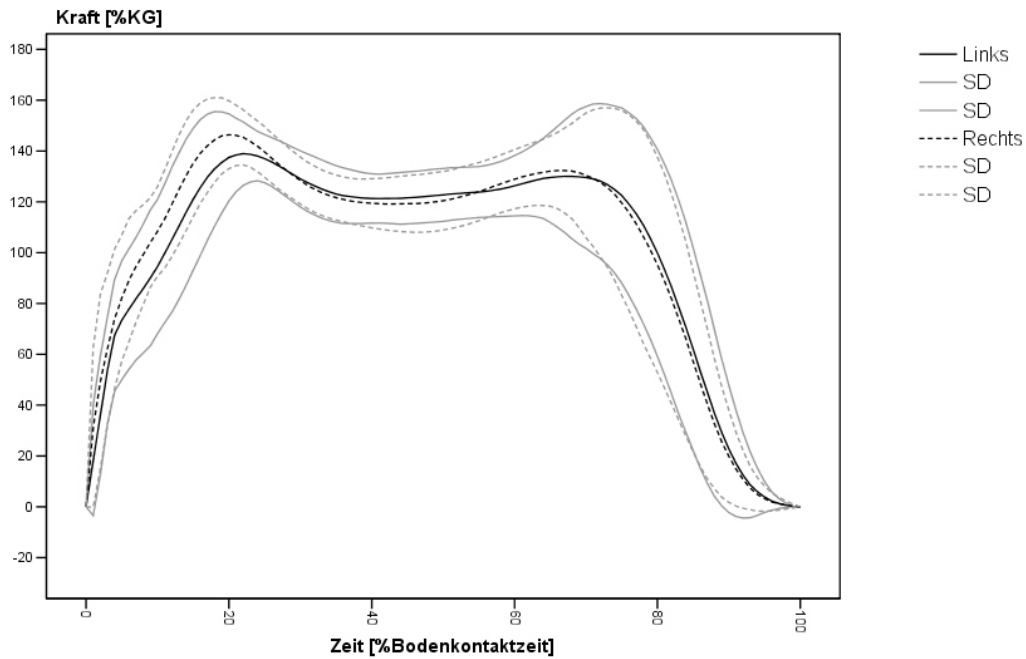
Bei den Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis liegen in der Altersgruppe 14-17 Jahre (SI $-0,99\%$) und bei Patient 32 (18-24 Jahre) (SI $-0,04\%$) annähernd gleiche Werte vor. Bei Patient Nummer 37 (18-24 Jahre) findet sich eine geringe Verminderung der Spitzenkraft auf der verletzten Beinseite (SI $-3,37\%$).

Diese ist bei Patient 32 im Vergleich zur Patientengruppe mit gutem Ergebnis und zur Probandengruppe beidseitig vermindert.

Die Betrachtung der Probanden zeigt annähernd gleiche Werte für die 10-13jährigen (n.s.)(SI $-1,97\% \pm 4,8\%$), die 14-17jährigen (n.s.)(SI $-0,77\% \pm 3,36\%$) und für die 18-24jährigen Probanden (n.s.)(SI $2,25\% \pm 9,33\%$) im rechts-links-Vergleich.

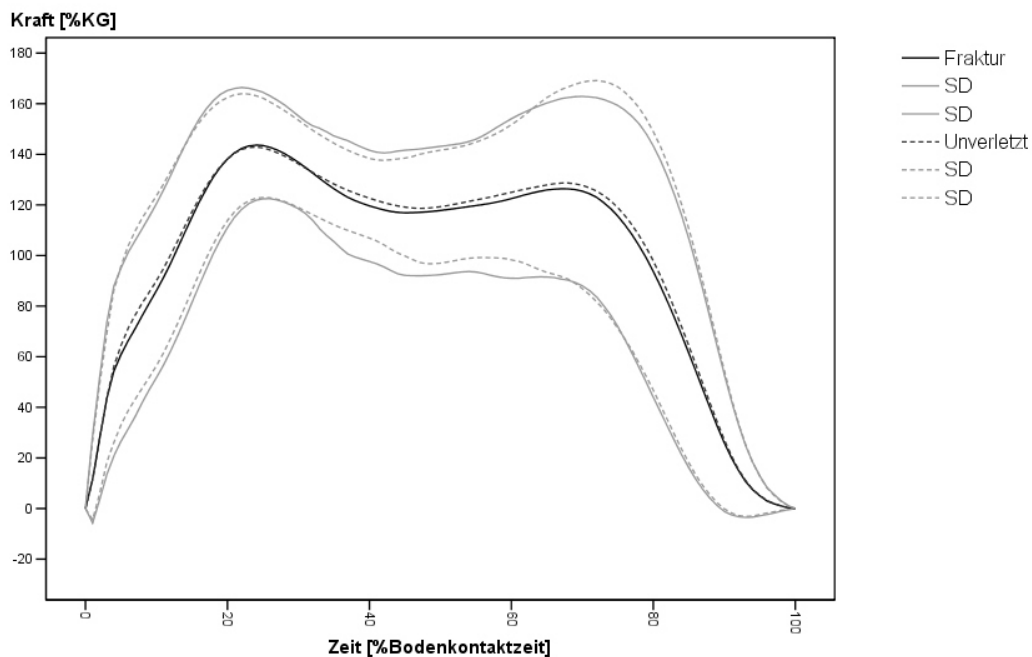
Exemplarisch wird für die Probanden die Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft der 10 bis 13 Jährigen in Graphik 5 angezeigt.

Das 1. Maximum bei den 10 bis 13 Jahre alten Probanden folgt auf der linken Seite etwas später und fällt gering niedriger aus als auf der rechten. Kurz nach dem 1. Maximum verlaufen beide Mittelwertlinien fast annähernd identisch. Das 2. Maximum beider Seiten fällt niedriger als das 1. aus, ist aber erkennbar vorhanden. Die Breite von der Mittelwertlinie zu den SD-Linien ist auf beiden Seiten annähernd gleich (Graphik 5).



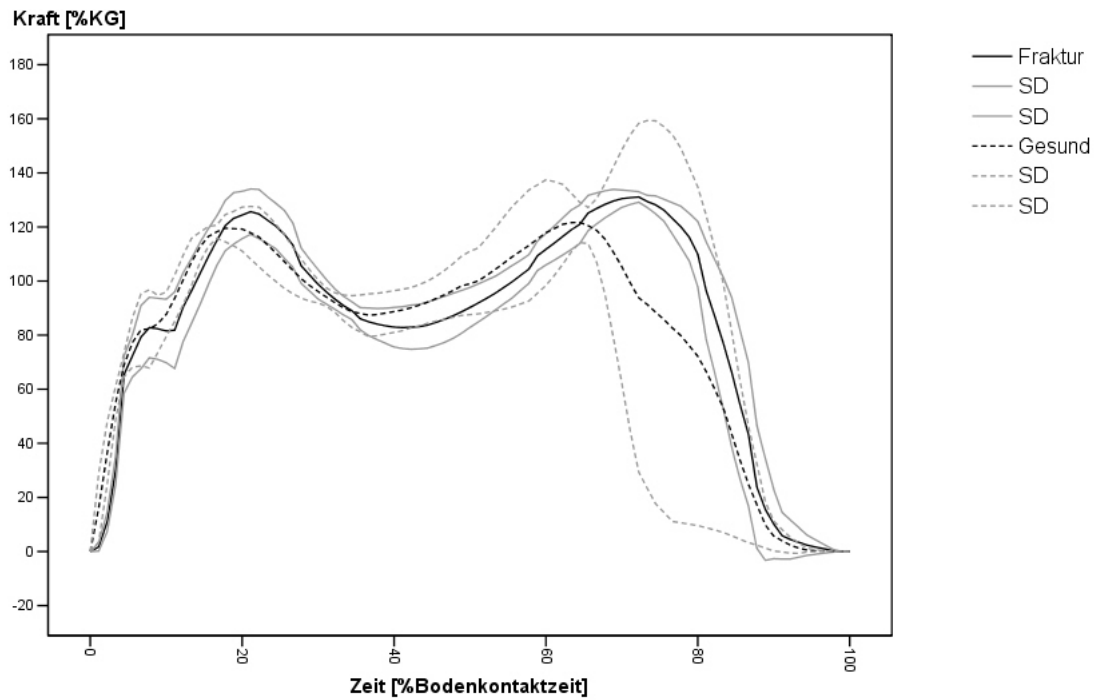
Graphik 5 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Probanden 10-13 Jahre (N=9)

Zuerst folgt die Betrachtung der Verlaufskurven aller Patienten zusammen (Graphik 6): Die Mittelwertlinien beider Beinseiten in der Graphik 6 mit allen Patienten zusammen sind ebenfalls annähernd identisch. Auch das 2. Maximum fällt flacher als das 1. aus, ist aber ebenfalls erkennbar. Die SD-Linien, größtenteils deckungsgleich, verlaufen beim 1. Maximum beginnend bis nach dem 2. Maximum immer weiter von der Mittelwertlinie beider Beinseiten auseinander.

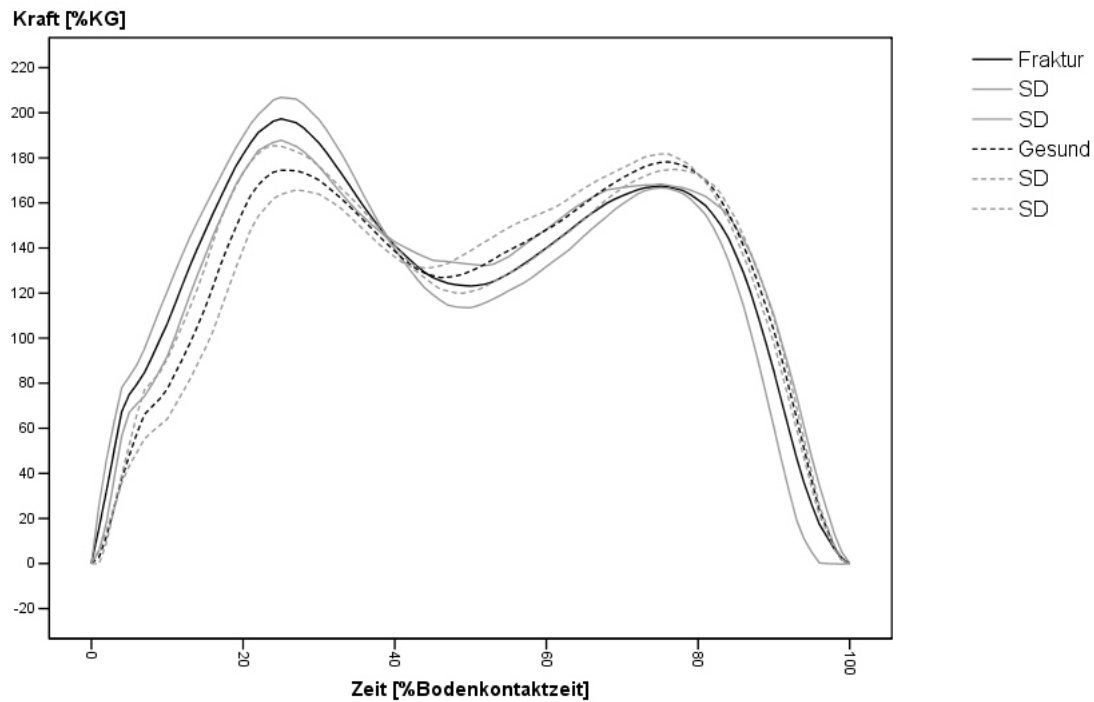


Graphik 6 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; alle Patienten zusammen 10-24 Jahre (N=36)

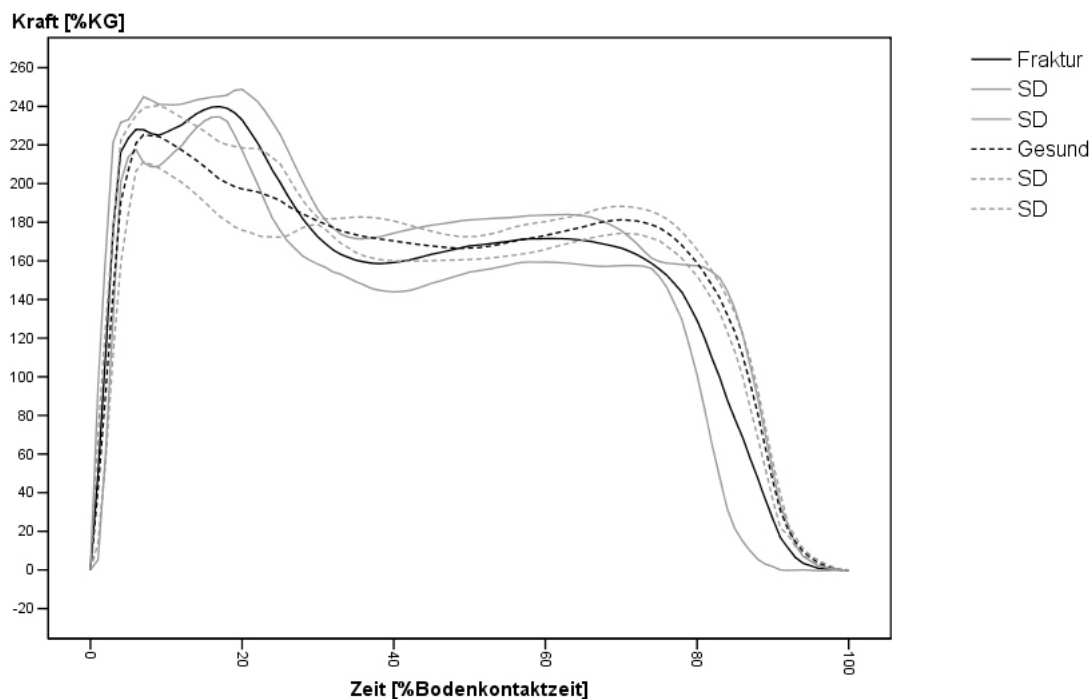
Erst die genauere Betrachtung der einzelnen Altersgruppen zeigt Unterschiede auf (Graphiken 7 bis 14):



Graphik 7 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 8 mit gutem klinischen Ergebnis 10-13 Jahre (N=1)



Graphik 8 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 20 mit gutem klinischen Ergebnis 10-13 Jahre (N=1)



Graphik 9 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 23 mit gutem klinischen Ergebnis 10-13 Jahre (N=1)

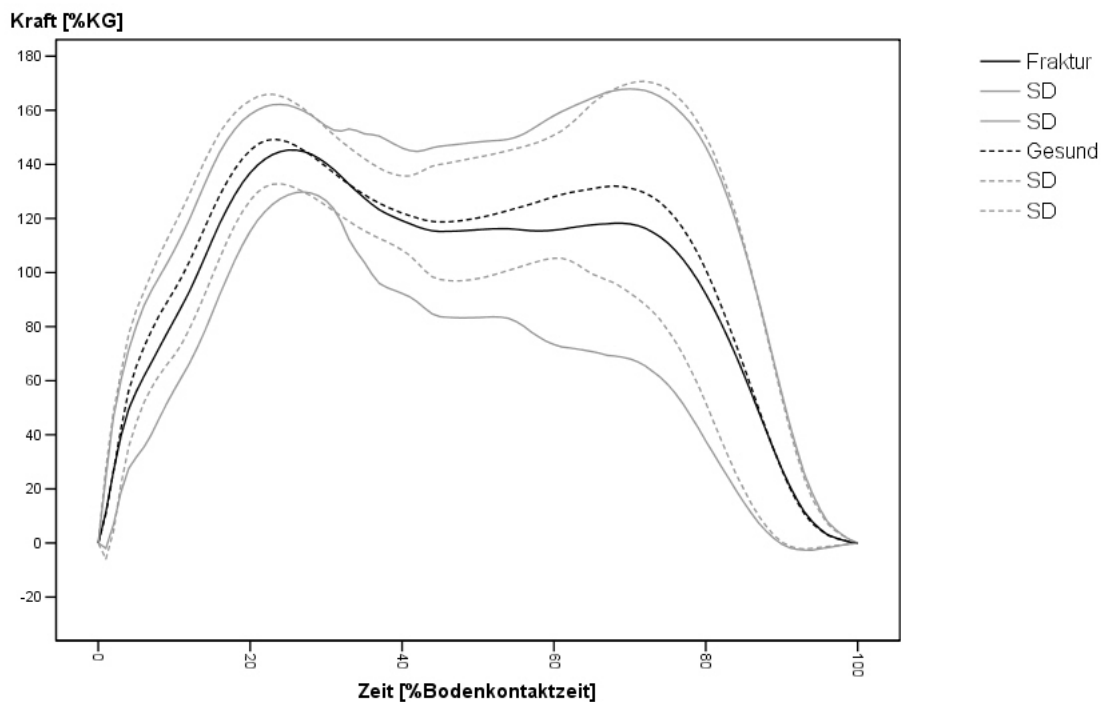
Es folgt die Betrachtung der Graphiken der 10 bis 13jährigen Patienten:

Bei Patient Nummer 8 (Graphik 7) fällt ein früheres und etwas niedrigeres Maximum 1 auf der gesunden Seite auf. Auch das 2. Maximum dieser Seite ist zeitlich früher und niedriger als auf der Fraktur-Seite. Hier ist aber die Standardabweichung vor und vor allem nach dem 2. Maximum viel größer. Die SD auf der verletzten Beinseite hingegen legt sich relativ nahe dem Mittelwert diesen Beines an. Das 2. Maximum beider Seiten fällt größer aus als das 1. Maximum im Unterschied zu den Probanden und zu der Graphik „alle Patienten zusammen“, sowie zu den Untergruppen 14-17 Jahre und 18-24 Jahre der Patienten mit gutem klinischen Ergebnis. Das Tal beider Beinseiten liegt im Unterschied zu den anderen Graphiken unter 100%KG.

Bei Patient Nummer 20 (Graphik 8) liegt das 2. Maximum der Fraktur-Seite tiefer als das 1. auf dieser Seite. Bei der gesunden Beinseite ist das 2. hingegen etwas höher. Es fällt ein deutliches Tal zwischen dem 1. und 2. Maximum beider Seiten auf. Die SD-Linien bds. legen sich dem Mittelwert sehr nahe an. Ferner liegen sehr große Maxima vor (Werte über 180%KG 1. Maximum, über 160%KG 2. Maximum).

Bei Patient 23 dieser Altersgruppe (Graphik 9) fällt ein noch größeres 1. Maximum als bei Patient 20 bei ebenfalls sehr großem 2. Maximum auf. Das Tal stellt sich flacher dar. Die Standardabweichung beider Seiten ist gering.

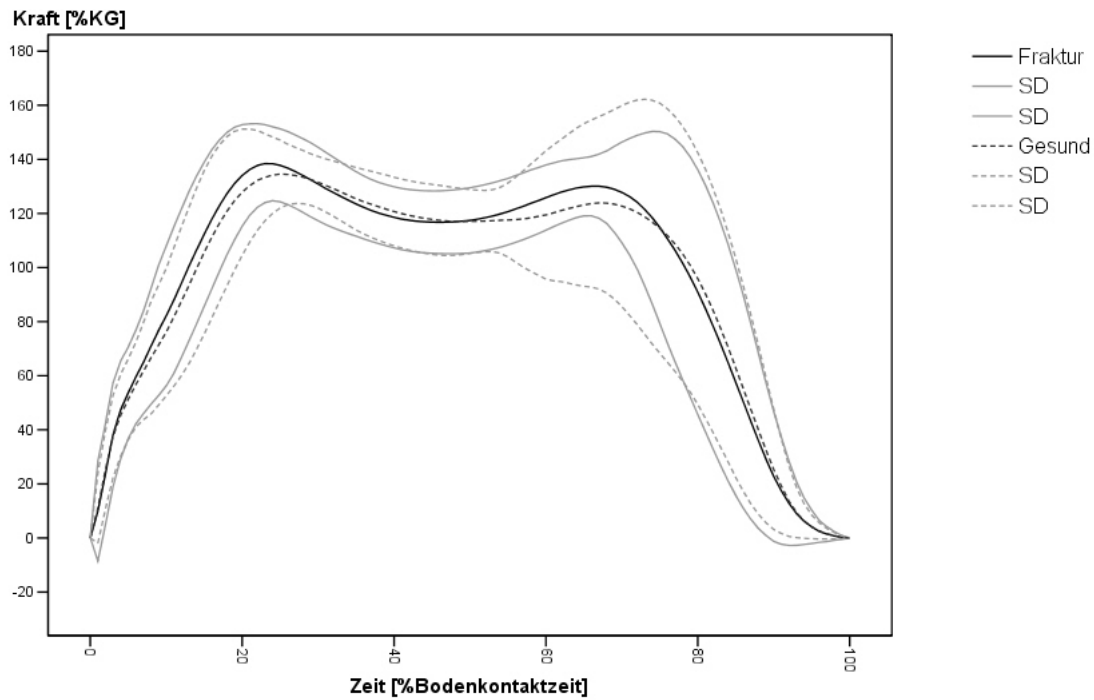
Bei den 14-17jährigen Patienten mit gutem klinischen Ergebnis fallen vermehrt Unterschiede auf: Das 2. Maximum ist auf der ehemals verletzten Beinseite niedriger als das der gesunden Seite. Ein deutliches 2. Maximum mit davor liegendem Tal kann man auf dieser Seite nicht erkennen. Die SD wird über die Zeit hin immer größer, vor allem auf der Fraktur-Seite (Graphik 10).



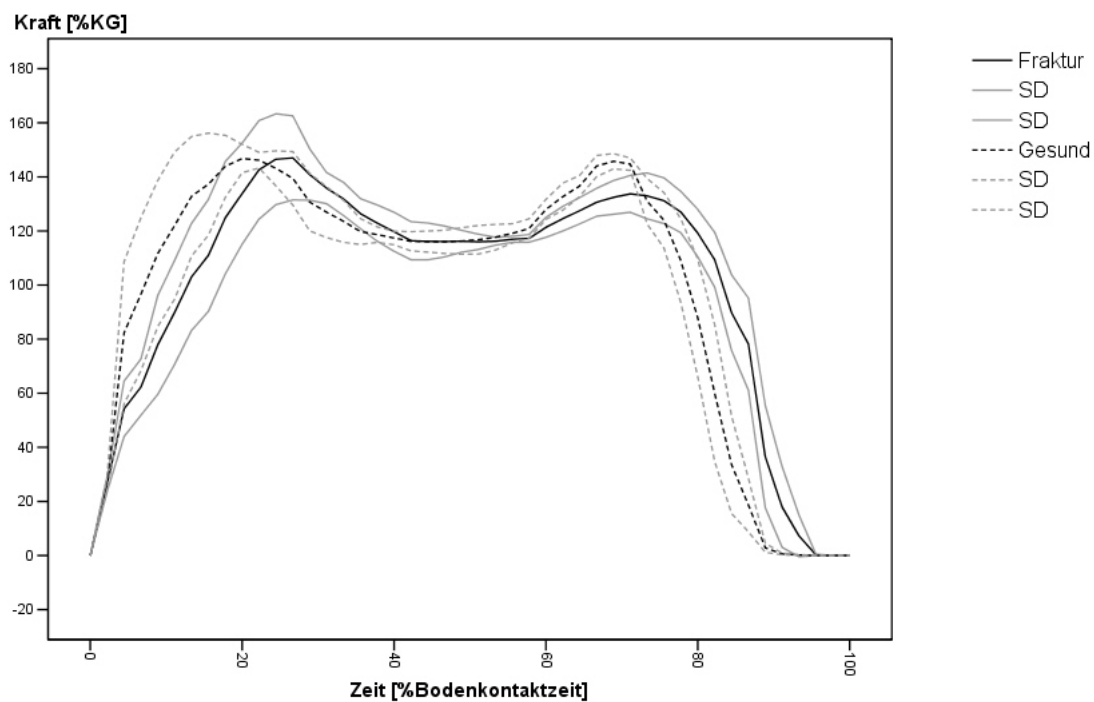
Graphik 10 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patienten mit gutem klinischen Ergebnis 14-17 Jahre (N=17)

Die Betrachtung der Graphik 11 der 18-24 Jahre alten Patienten mit gutem klinischen Ergebnis zeigt, dass das 1. und 2. Maximum auf der gesunden Seite etwas niedriger ausfallen. Auch die SD wird mit der Zeit immer größer (2. Maximum), hier aber im Unterschied zur vorherigen Graphik auf der gesunden Beinseite.

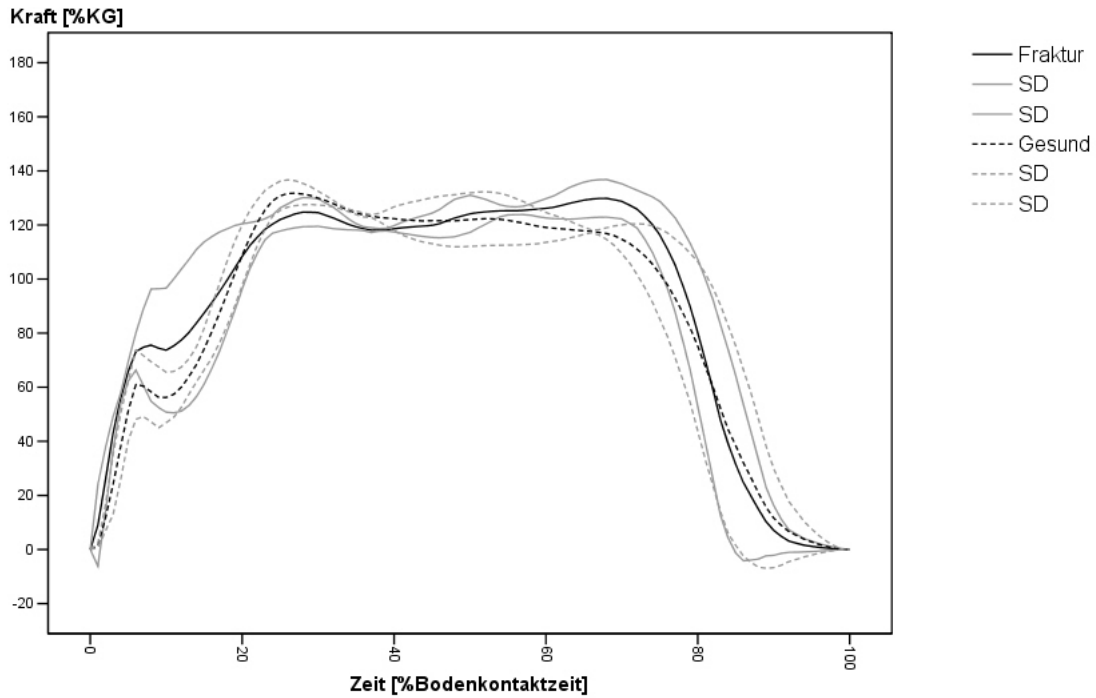
Bei dem Patienten Nummer 31 mit schlechtem klinischen Ergebnis (Graphik 12) findet man das 1. Maximum (gesunde Seite) früher als das der verletzten Seite. Das 2. Maximum (gesunde Seite) ist größer und früher als das des verletzten Beines. Es ist außerdem fast so hoch wie das 1. Maximum.



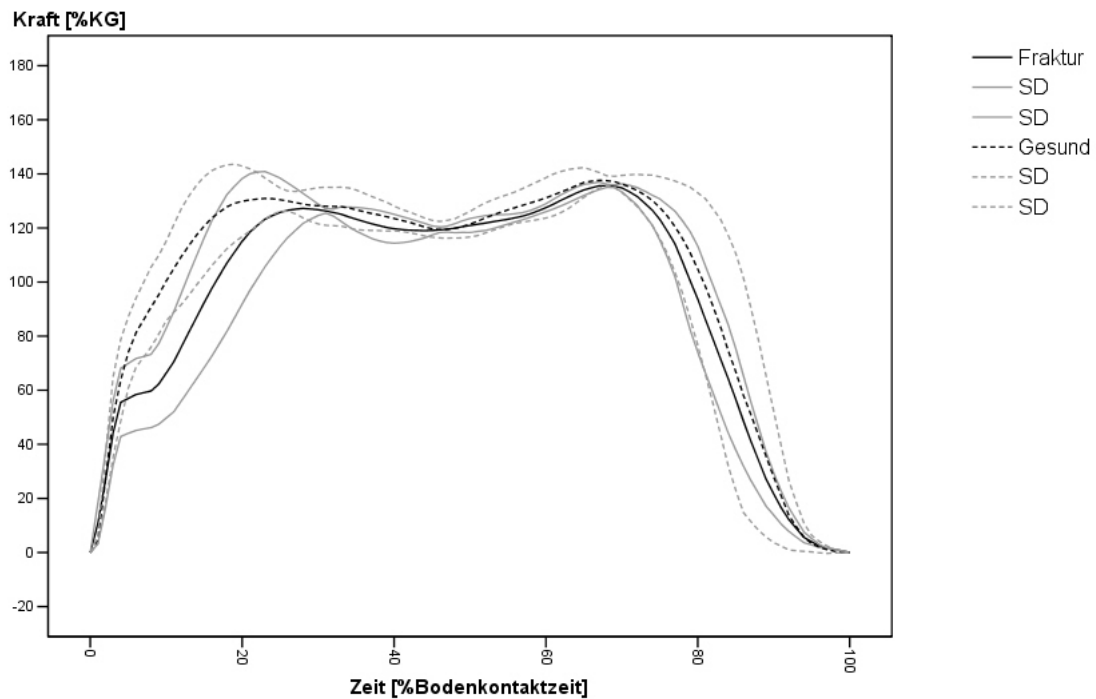
Graphik 11 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patienten mit gutem klinischen Ergebnis 18-24 Jahre (N=13)



Graphik 12 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 31 mit schlechtem klinischen Ergebnis 14-17 Jahre (N=1)



Graphik 13 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 32 mit schlechtem klinischen Ergebnis 18-24 Jahre (N=1)



Graphik 14 Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 37 mit schlechtem klinischen Ergebnis 18-24 Jahre (N=1)

In der Gruppe 18-24 Jahre, schlechtes klinisches Ergebnis, findet sich bei Patient Nummer 32 (Graphik 13) ein größeres 2. Maximum auf der Fraktur-Seite im Vergleich zum 1. Auf der gesunden Beinseite hingegen ist das 1. größer. Das 2. Maximum ist hier nicht erkennbar. Ferner fehlt ein deutliches Tal zwischen beiden Maxima beider Beine.

Bei Patient 37 dieser Gruppe (Graphik 14) sind beide 2. Maxima größer als die 1. Maxima beider Seiten mit ebenfalls gering ausgeprägtem Tal. Die Standardabweichung (SD) ist bei beiden Patienten bei beiden Seiten größtenteils gering.

Es ergibt sich bei den drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis folgendes Bild: Ein fast so hohes 2. Maximum auf der gesunden Seite besteht im Vergleich zum 1. Maximum bei Patient 31, ein höheres 2. Maximum auf der Fraktur-Seite bei Patient 32 und ebenfalls ein höheres 2. Maximum beider Beinseiten bei Patient 37.

Dieser Trend findet sich, abgesehen von Patient 8 (10-13 Jahre, gutes Ergebnis) bei den Patienten mit gutem klinischen Outcome und bei den Probanden nicht.

Eine definitive Aussage ist aufgrund der geringen Fallzahl sicher nicht machbar.

3.5.4. Maximaldruck [N/cm²]:

Die Werte des Maximaldruckes und die SI-Werte der einzelnen Altersgruppen können den Tabellen 18 bis 22 entnommen werden.

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD |
|---|---------------------------------|--------|--------------|---------------------------------|--------|
| | Probanden | | | Patienten | |
| 10 - 13 Jahre | (N=9) | | | (N=3)(8); (20); (23) | |
| FZ | 1,76% ± | 23,93% | | 11,28%; 06,39%; 08,70% | |
| FM | 4,70% ± | 20,56% | | -04,26%; 07,84%; 09,92% | |
| FL | -17,66% ± | 26,56% | | 07,59%; 32,56%; 08,45% | |
| GM | -19,71% ± | 13,90% | | 200%; 10,91%; -08,70% | |
| M1 | 8,30% ± | 16,76% | | 06,78; -57,63%; 09,59% | |
| M2und3 | -3,94% ± | 22,20% | | -13,16%; 16,67%; 10,03% | |
| M5 | -11,37% ± | 50,48% | | 84,75%; -06,90%; -61,64% | |
| H | 6,04% ± | 40,21% | | -54,00; -22,11%; -40,46% | |
| 14 - 17 Jahre | (N=11) | | | (N=17) | |
| FZ | 1,93% ± | 24,38% | 0,335 | -9,88% ± | 27,19% |
| FM | 5,19% ± | 20,52% | 0,029 | -7,68% ± | 15,57% |
| FL | -9,33% ± | 21,43% | 0,760 | -12,34% ± | 28,71% |

| | | | |
|----------------------|------------------|-------|------------------|
| GM | -12,65% ± 30,05% | 0,981 | -12,68% ± 27,92% |
| M1 | 2,57% ± 25,95% | 0,557 | -10,28% ± 47,95% |
| M2und3 | -11,13% ± 25,35% | 0,138 | 4,83% ± 18,60% |
| M5 | -9,46% ± 45,86% | 0,557 | -15,62% ± 53,51% |
| H | -13,25% ± 43,80% | 0,126 | 16,43% ± 54,78% |
| 18 - 24 Jahre | (N=26) | | (N=13) |
| FZ | 1,82% ± 23,62% | 0,571 | 6,16% ± 21,29% |
| FM | 4,82% ± 19,22% | 0,800 | 6,97% ± 21,91% |
| FL | -2,18% ± 17,28% | 0,952 | -1,09% ± 28,77% |
| GM | 0,07% ± 26,28% | 0,363 | 2,79% ± 24,60% |
| M1 | -0,42% ± 34,93% | 0,835 | 0,59% ± 36,21% |
| M2und3 | -9,69% ± 22,20% | 0,108 | 5,05% ± 27,25% |
| M5 | -6,48% ± 38,35% | 0,421 | -4,32% ± 40,98% |
| H | 1,69% ± 34,88% | 0,475 | 17,11% ± 44,25% |

Tabelle 18 Symmetrie-Index [%] des Maximaldruckes; Probanden und Patienten mit gutem klinischen Ergebnis

| (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Wert | Wert 1, 2 |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | Patienten | Patienten |
| | 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) |
| FZ | -14,56% | 11,11%; -16,33% |
| FM | 01,13% | -01,03%; -30,11% |
| FL | 06,99% | 60,27%; -05,78% |
| GM | -43,81% | 123,81%; 78,79% |
| M1 | 74,36% | 19,09%; -54,84% |
| M2und3 | -26,98% | -41,15%; -27,24% |
| M5 | -66,67% | 121,13%; 19,35% |
| H | -01,50% | -124,51%; -05,37% |

Tabelle 19 Symmetrie-Index [%] des Maximaldruckes; Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis

10 bis 13 Jahre:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 ±SD | | | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 ±SD | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------|--------------|---------|-------------------------------------|---------|--|
| | linker Fuß | | | | rechter Fuß | | |
| Probanden (N=9) | | | | | | | |
| FZ | 41,37 | ± 16,15 | 0,678 | | 39,26 | ± 11,05 | |
| FM | 35,15 | ± 7,90 | 0,575 | | 33,33 | ± 7,03 | |
| FL | 19,78 | ± 3,64 | 0,110 | | 23,63 | ± 4,02 | |
| GM | 8,11 | ± 2,35 | 0,012 | | 9,70 | ± 2,25 | |
| M1 | 27,19 | ± 9,05 | 0,172 | | 25,59 | ± 11,06 | |
| M2und3 | 32,04 | ± 11,76 | 0,594 | | 32,33 | ± 6,82 | |
| M5 | 14,30 | ± 9,16 | 0,767 | | 14,93 | ± 8,43 | |
| H | 55,19 | ± 27,00 | 0,515 | | 48,22 | ± 18,05 | |

| Patienten (N=3)(8);(20);(23) <i>gutes klin. Ergebnis</i> | verletzter Fuß | gesunder Fuß |
|--|-----------------------|---------------------|
| FZ | 59,33; 37,67; 44,00 | 53,00; 35,33; 40,33 |
| FM | 38,33; 35,33; 42,33 | 40,00; 32,67; 38,33 |
| FL | 13,67; 25,00; 37,00 | 12,67; 18,00; 34,00 |
| GM | 2,67; 9,67; 18,33 | 0,00; 8,67; 20,00 |
| M1 | 40,67; 21,00; 47,33 | 38,00; 38,00; 43,00 |
| M2und3 | 23,67; 39,00; 66,33 | 27,00; 33,00; 60,00 |
| M5 | 28,00; 9,33; 18,33 | 11,33; 10,00; 34,67 |
| H | 24,33; 59,00; 23,00 | 42,33; 73,67; 34,67 |

Tabelle 20 Maximaldruck [N/cm²] Probanden und Patienten (10-13 Jahre)

Bei den Patienten mit gutem Outcome finden sich folgende Veränderungen im Vergleich zu den Probanden, sowie intraindividuell:

Patient Nummer 8 zeigt verminderte Werte unter der lateralen Ferse beidseits und unter der Gewölbmitte beidseits. Beidseitig findet sich der Maximaldruck unter M1 erhöht. Erhöht ist ebenfalls der Druck unter M5 auf der frakturierten Beinseite bei vermindertem Druck unter dem Hallux auf dieser Seite. Es liegt eine Entlastung lateralseitig beidseitig vor im hinteren und mittleren Fußabschnitt unter verstärkter Belastung im mediallyseitigen Vorfußbereich (M1) bezüglich der Druckspitzen unter den Rol.

Auf der ehemals gebrochenen Seite wird im Vorfußbereich zusätzlich lateralseitig verstärkt belastet (M5) (SI 84,75%) unter Entlastung der Halluxregion (SI -54,00%).

Hingegen ist bei Patient Nr. 20 der Druck unter M1 auf der gesunden Beinseite erhöht (SI -57,63%).

Im Vergleich zu den Probanden zeigt Patient 23 eine erhöhte Druckbelastung unter beiden Fersen lateralseitig, sowie unter der Gewölbmitte beidseits, unter M1 beidseitig und unter M2/3 beidseits. Der Druckwert ist auf der unverletzten Seite unter M5 (SI -61,64%) ebenfalls erhöht. Hingegen ist unter dem Hallux auf der frakturierten Beinseite der Maximaldruck vermindert (SI -40,46%). Es liegt eine Lateralisationstendenz des Spitzendruckes bei diesem Patienten im Vergleich zu den Probanden im hinteren und mittleren Fußabschnitt vor. Der ehemals verletzte Fuß wird im Hallux- und M5-Bereich entlastet im intraindividuellen Vergleich.

Eine Verminderung des Maximaldruckes zeigt sich bei den Probanden unter der linken Gewölbmitte links zu rechts ($p=0,012$) (SI $-19,71 \pm 13,90\%$). Eine leichte Verminderung findet sich ebenfalls links unter der lateralen Ferse (n.s.) (SI $-17,66\% \pm 26,56\%$). Eine leichte Druckerhöhung hingegen zeigt sich im Hallux (n.s.) (SI $6,05\% \pm 40,21\%$).

Die Symmetrie-Werte unter M5 der Probanden zeigen mit $-11,37\%$ ($\pm 50,48\%$) eine große Breite mit Entlastungstendenz auf der linken Seite. Bei den Maximaldruckwerten fällt diese Asymmetrie nicht so sehr auf (n.s.).

14 bis 17 Jahre:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD |
|--|---------------------------------|----------|--------------|---------------------------------|----------|
| Probanden (N=11) | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| FZ | 40,91 \pm 7,32 | | 0,790 | 40,33 \pm 8,42 | |
| FM | 35,88 \pm 7,63 | | 0,477 | 34,18 \pm 7,21 | |
| FL | 25,27 \pm 3,92 | | 0,091 | 28,12 \pm 6,10 | |
| GM | 9,00 \pm 2,51 | | 0,155 | 10,00 \pm 1,67 | |
| M1 | 34,55 \pm 12,78 | | 0,929 | 34,85 \pm 19,66 | |
| M2und3 | 37,82 \pm 10,12 | | 0,286 | 42,73 \pm 14,30 | |
| M5 | 15,15 \pm 5,77 | | 0,859 | 16,79 \pm 8,29 | |
| H | 53,45 \pm 19,70 | | 0,142 | 62,88 \pm 23,53 | |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| <i>gutes klin. Ergebnis (N=17)</i> | | | | | |
| FZ | 35,35 \pm 4,80 | | 0,103 | 40,24 \pm 11,02 | |
| FM | 32,29 \pm 4,81 | | 0,039 | 35,35 \pm 7,77 | |
| FL | 25,00 \pm 4,66 | | 0,130 | 29,16 \pm 8,86 | |
| GM | 12,86 \pm 3,79 | | 0,115 | 14,86 \pm 5,60 | |
| M1 | 33,47 \pm 16,40 | | 0,492 | 36,65 \pm 14,32 | |
| M2und3 | 58,41 \pm 19,99 | | 0,356 | 55,20 \pm 16,80 | |
| M5 | 16,86 \pm 9,73 | | 0,266 | 19,88 \pm 9,57 | |
| H | 55,36 \pm 26,47 | | 0,193 | 45,88 \pm 23,68 | |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis (N=1)</i> | | | | | |
| FZ | 40,33 | | | 46,67 | |
| FM | 29,67 | | | 29,33 | |
| FL | 24,67 | | | 23,00 | |
| GM | 13,67 | | | 21,33 | |
| M1 | 35,67 | | | 16,33 | |
| M2und3 | 62,00 | | | 81,33 | |
| M5 | 11,00 | | | 22,00 | |
| H | 66,33 | | | 67,33 | |

Tabelle 21 Maximaldruck [N/cm²] Probanden und Patienten (14-17 Jahre)

In der Gruppe mit gutem klinischen Ergebnis wird die mediale Ferse auf der verletzten Seite entlastet ($p=0,039$) (SI $-7,68\%$ \pm $15,57\%$). Auch die Ferse zentral (n.s.) (SI $-9,88\%$ \pm $27,19\%$) und lateral (n.s.) (SI $-12,34\%$ \pm $28,71\%$) wird hier entlastet, während der Hallux auf der gesunden Beinseite im Vergleich zur anderen entlastet wird (n.s.) (SI $16,43\%$ \pm $54,78\%$).

Bei dem Patienten mit schlechtem klinischen Outcome finden sich auf der gesunden Seite im Vergleich zur verletzten erhöhte Werte unter der zentralen Ferse (SI – 14,56%), der Gewölbmitte (SI –43,81%), unter M2/3 (SI –26,98%) und unter M5 (SI –66,67%) bei vermindertem Wert unter M1 (SI 74,36%) auf dieser Beinseite.

Der Vergleich zu den anderen Patienten zeigt einen erhöhten Wert unter M2/3 bei verminderten Wert unter M1 auf der gesunden Beinseite.

Bei den Probanden finden sich erniedrigte Maximaldruckwerte unter der linken lateralen Ferse im Vergleich zur rechten Seite (n.s.) (SI –9,33% ± 21,43%), sowie unter M2/3 links (n.s.) (SI –11,13% ± 25,35%) und unter dem Hallux (n.s.) (SI – 13,25% ± 43,80%). Trotz fast gleicher Maximaldruckwerte unter der Gewölbmitte zeigt der SI eine Abweichung der Symmetrie an (SI –12,65% ± 30,05%).

Bei den Probanden zeigt sich ein erniedrigter Wert unter M2/3 beidseits im Vergleich zu den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis, sowie ein erhöhter Wert unter dem rechten Hallux. Die Symmetrie-Werte für die Ferse medial unterscheiden sich von den Patienten und Probanden (gutes Ergebnis klinisch)(p=0,029).

18 bis 24 Jahre:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD |
|--|---------------------------------|-----|--------------|---------------------------------|-----|
| Probanden (N=26) | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| FZ | 45,83 ± 12,61 | | 0,919 | 45,12 ± 13,06 | |
| FM | 38,87 ± 8,36 | | 0,300 | 37,26 ± 9,26 | |
| FL | 26,58 ± 6,38 | | 0,416 | 27,28 ± 6,99 | |
| GM | 9,99 ± 4,33 | | 0,419 | 10,22 ± 4,80 | |
| M1 | 45,62 ± 21,30 | | 0,629 | 45,00 ± 19,92 | |
| M2und3 | 43,85 ± 17,16 | | 0,021 | 48,12 ± 17,39 | |
| M5 | 16,51 ± 10,32 | | 0,201 | 17,11 ± 10,55 | |
| H | 68,68 ± 22,02 | | 0,980 | 68,01 ± 24,37 | |
| Patienten <i>gutes klin. Ergebnis (N=13)</i> | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| FZ | 40,85 ± 10,40 | | 0,311 | 38,82 ± 11,30 | |
| FM | 36,79 ± 9,74 | | 0,208 | 34,03 ± 7,66 | |
| FL | 28,82 ± 7,29 | | 0,807 | 29,62 ± 8,73 | |
| GM | 12,41 ± 5,97 | | 0,247 | 11,31 ± 4,49 | |
| M1 | 44,54 ± 16,96 | | 0,834 | 44,90 ± 17,91 | |
| M2und3 | 53,79 ± 17,36 | | 0,875 | 50,59 ± 15,68 | |
| M5 | 18,38 ± 11,76 | | 0,972 | 21,26 ± 16,11 | |
| H | 66,77 ± 20,93 | | 0,382 | 59,46 ± 29,43 | |

| | | |
|--|--------------|---------------|
| <i>schlechtes klin. Ergebnis (N=2)</i> | | |
| FZ (32;37) | 38,00; 30,00 | 34,00; 35,33 |
| FM | 32,33; 26,33 | 32,67; 35,67 |
| FL | 31,67; 28,00 | 17,00; 29,67 |
| GM | 34,00; 23,00 | 08,00; 10,00 |
| M1 | 44,00; 15,00 | 36,33; 26,33 |
| M2und3 | 64,33; 43,33 | 97,67; 57,00 |
| M5 | 57,00; 17,00 | 14,00; 14,00 |
| H | 25,67; 48,33 | 110,33; 51,00 |

Tabelle 22 Maximaldruck [N/cm²] Probanden und Patienten (18-24 Jahre)

Patienten mit gutem Ergebnis zeigen eine Verminderung unter der zentralen (n.s.) (SI 6,16% ± 21,29%) und der medialen Ferse (n.s.) (SI 6,97% ± 21,91%) des unversehrten Beines, sowie unter dem Hallux (n.s.) (SI 17,11% ± 44,25%) bei gering erhöhtem Wert unter M5 (n.s.) (SI -4,32% ± 40,98%) im Vergleich zum frakturierten. Der Maximaldruck ist unter M2/3 der verletzten Seite gering erhöht (n.s.) (SI 5,05% ± 27,25%). Es wird mediallyseitig unter der Fußfläche des gesunden Beines entlastet bezüglich des Spitzendrucks.

Bei beiden Patienten mit schlechtem Ergebnis findet sich ein vermehrter Druck unter dem lateralen ehemals verletzten Beines: Bei Patient Nr. 32 ist der Druck unter der Gewölbmitte (SI 123,81%) und unter M5 (SI 121,13%) erhöht auf der verletzten Beinseite, auf der unverletzten ist die Ferse lateral (SI 60,27%) entlastet und unter M2/3 (SI -41,15%) belastet. Zusätzlich zeigt der Hallux (SI -124,51%) auf der unfrakturierten Seite einen stark erhöhten Maximaldruckwert im Seitenvergleich.

Patient Nr. 37 hat einen leicht erniedrigten Druck unter der zentralen Ferse (SI -16,33%), einen verminderten Druck unter der medialen Ferse (SI -30,11%) und unter M1 (SI -54,84%) und M2/3 (SI -27,24%) der verletzte Beinseite. Dafür ist auf dieser Seite der Maximaldruck unter der Gewölbmitte (SI 78,79%) erhöht.

Bei den Probanden zeigt sich eine Verminderung des Maximaldruckes M2/3 links (p=0,021) (SI -9,69% ± 22,20%) zur rechten Seite.

Auffallend im Patienten-Probanden-Vergleich ist ein Symmetrieindex von 17,11% (±44,25%) unter dem Hallux bei den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis zu 1,69% (±34,88%) bei den Probanden (n.s.).

3.5.5. Relativimpuls [%]:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD |
|---|---------------------------------|----------|---------|---------------------------------|----------|
| | Probanden | | | Patienten | |
| | | | | <i>gutes klin. Ergebnis</i> | |
| 10 - 13 Jahre | (N=9) | | | (N=3)(8); (20); (23) | |
| FZ | 7,51% \pm 24,39% | | | 07,29%; 15,30%; 10,14% | |
| FM | 18,03% \pm 36,85% | | | -19,81%; 05,34; 08,38% | |
| FL | -12,77% \pm 25,57% | | | -18,86%; 08,05%; -43,69% | |
| GM | -40,21% \pm 45,27% | | | 200%; 40,52%; 03,23% | |
| M1 | 12,33% \pm 20,31% | | | 16,84%; -42,96%; -13,38% | |
| M2und3 | -17,75% \pm 18,24% | | | -02,02%; 08,99%; 17,19% | |
| M5 | -31,59% \pm 58,44% | | | 103,70%; 07,04%; -47,63% | |
| H | 4,74% \pm 39,49% | | | -33,90%; -47,06%; -42,44% | |
| FK | 7,07% \pm 23,31% | | | -00,91%; 11,19%; 00,55% | |
| 14 - 17 Jahre | (N=11) | | | (N=17) | |
| FZ | 6,14% \pm 26,00% | 0,410 | | 1,55% \pm 36,87% | |
| FM | 1,91% \pm 31,03% | 0,760 | | 3,12% \pm 26,43% | |
| FL | -3,27% \pm 36,59% | 0,796 | | -0,99% \pm 33,42% | |
| GM | -32,80% \pm 55,42% | 0,557 | | -16,16% \pm 43,68% | |
| M1 | 11,84% \pm 33,53% | 0,312 | | -5,61% \pm 50,10% | |
| M2und3 | 2,15% \pm 13,78% | 0,557 | | 3,97% \pm 23,66% | |
| M5 | -4,38% \pm 57,20% | 0,760 | | -8,64% \pm 68,06% | |
| H | -9,34% \pm 39,65% | 0,115 | | 20,75% \pm 53,77% | |
| FK | 1,96% \pm 22,35% | 0,724 | | 1,25% \pm 30,26% | |
| 18 - 24 Jahre | (N=26) | | | (N=13) | |
| FZ | -7,19% \pm 22,12% | 0,388 | | 0,72% \pm 24,52% | |
| FM | 14,46% \pm 26,97% | 0,634 | | 8,69% \pm 31,71% | |
| FL | 3,21% \pm 23,76% | 0,108 | | -9,98% \pm 33,66% | |
| GM | -5,71% \pm 36,48% | 0,613 | | -13,44% \pm 31,97% | |
| M1 | 0,84% \pm 26,98% | 0,952 | | 2,28% \pm 36,48% | |
| M2und3 | -6,41% \pm 24,78% | 0,200 | | 4,33% \pm 22,67% | |
| M5 | -5,60% \pm 42,14% | 0,388 | | 7,48% \pm 56,67% | |
| H | 11,35% \pm 36,13% | 0,677 | | 5,11% \pm 39,68% | |
| FK | 0,12% \pm 16,57% | 0,835 | | 0,66% \pm 24,05% | |

Tabelle 23 Symmetrie-Index [%] der Relativimpulswerte; Probanden und Patienten mit gutem klinischen Ergebnis

Die Relativimpulse sind wesentlich interessanter als die Impulswerte, da die Vergleichbarkeit der verschiedenen Rol besser ist.

Die Werte finden sich in den Tabellen 23 bis 27.

| (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Wert | Wert 1, 2 |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | Patienten | Patienten |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis</i> | 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) |
| FZ | -27,41% | 53,35%; 20,86% |
| FM | 47,10% | 53,49%; 18,20% |
| FL | 12,34% | 116,89%; 04,62% |
| GM | -50,21% | 132,87%; 117,04% |
| M1 | 90,78% | -73,29%; -160,17% |
| M2und3 | -15,30% | -70,54%; -112,64% |
| M5 | -54,38% | 132,69%; 45,13% |
| H | 50,87% | -143,03%; -107,31% |
| FK | -2,81% | 64,62%; 16,29% |

Tabelle 24 Symmetrie-Index [%] der Relativimpulswerte; Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis

10 bis 13 Jahre:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------|--------------|---------------------------------|-------|
| Probanden | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| 10 - 13 Jahre (N=9) | | | | | |
| FZ | 20,71% ± | 5,74% | 0,214 | 19,02% ± | 4,40% |
| FM | 9,62% ± | 2,22% | 0,173 | 8,23% ± | 2,83% |
| FL | 6,07% ± | 2,11% | 0,374 | 6,90% ± | 2,21% |
| GM | 7,35% ± | 5,21% | 0,028 | 9,80% ± | 4,02% |
| M1 | 14,72% ± | 4,70% | 0,110 | 13,06% ± | 4,72% |
| M2und3 | 21,97% ± | 6,04% | 0,021 | 26,07% ± | 6,11% |
| M5 | 0,94% ± | 0,65% | 0,314 | 1,14% ± | 0,61% |
| H | 18,61% ± | 9,86% | 0,374 | 15,78% ± | 4,57% |
| FK | 36,41% ± | 5,35% | 0,515 | 34,15% ± | 6,65% |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| 10 - 13 Jahre (8); (20); (23) | | | | | |
| <i>gutes klin. Ergebnis (N=3)</i> | | | | | |
| FZ | 29,93%; 17,62%; 08,78% | | | 27,82%; 15,12%; 07,93% | |
| FM | 08,08%; 08,41%; 03,53% | | | 09,85%; 07,97%; 03,24% | |
| FL | 03,40%; 06,49%; 01,88% | | | 04,11%; 05,99%; 02,94% | |
| GM | 00,30%; 22,68%; 09,88% | | | 00,00%; 15,04%; 09,56% | |
| M1 | 19,14%; 08,23%; 16,67% | | | 16,16%; 12,73%; 19,05% | |
| M2und3 | 23,28%; 22,17%; 48,81% | | | 23,76%; 20,27%; 41,08% | |
| M5 | 03,20%; 00,54%; 01,06% | | | 01,02%; 00,50%; 01,72% | |
| H | 12,67%; 13,86%; 09,41% | | | 17,84%; 22,39%; 14,47% | |
| FK | 41,41%; 32,52%; 14,19% | | | 41,79%; 29,07%; 14,11% | |

Tabelle 25 Relativimpulswerte [%] Probanden und Patienten (10-13 Jahre)

Im interindividuellen Patienten-Probanden-Vergleich findet sich bei Patient Nr. 8 folgendes: Die Werte sind bei dem Patienten unter der Ferse zentral bds., sowie unter M5 auf der verletzten Seite erhöht. Hingegen sind diese unter der Ferse lateral auf der Fraktur-Seite vermindert und unter der Gewölbemitte bds. stark vermindert.

Im intraindividuellen Vergleich sieht man bei dem Patienten eine leichte Erhöhung der Werte von der Ferse zentral (SI 07,29%), von M1 (SI 16,84%), eine starke bei M5 (SI 103,70%) und eine Verminderung der Werte von dem Hallux (SI -33,90%) und von der Ferse medial (SI -19,81%) und lateral (SI -18,86%) auf der verletzten Seite. Die Ferse komplett betrachtet (FK), zeigt hingegen fast gleiche Werte (SI -00,91%).

Bei dem Patienten Nr. 20 finden sich im Vergleich zu den Probanden eine große Erhöhung der Relativimpulse unter der Gewölbemitte bds., sowie eine Verminderung des Wertes von M1 auf der verletzten Seite. Im intraindividuellem Vergleich zeigt der Patient eine Erhöhung der Werte von der Ferse zentral (SI 15,30%), der Gewölbemitte (SI 15,30%) und von M2/3 (SI 7,04%) auf der verletzten Seite und eine Verminderung unter M1 (SI -42,96%), sowie unter dem Hallux (SI -47,06%) auf dieser Seite. Ferner wird die komplette Ferse des nicht gesunden Beines verhältnismäßig mehr belastet (SI 11,19%). Hier lässt sich eine leichte Lateralisationstendenz ableiten.

Vergleicht man den Patienten mit der Nummer 23 mit den Probanden, so finden sich die Werte des Patienten unter der Ferse zentral bds., unter der Ferse medial bds. und lateral bds.(=FK) stark vermindert, während der Wert M2/3 bds. stark erhöht ist.

Im Rechts-Links-Vergleich zeigt sich ein minimal erhöhter Wert unter der Ferse lateral der Fußsohle des unverletzten Beines (SI -43,69% bei einem SI-Wert für FK von 0,55%), ein erhöhter Wert von M1 (SI -13,38%) und von dem Hallux (SI -42,44%), sowie ein verminderter Wert von M2/3 (SI 17,19%) auf derselben Beinseite. Bei den Probanden zeigt sich eine Verminderung der Relativimpulse der linken Gewölbemitte ($p=0,028$) (SI -40,21% \pm 45,27%) und von dem linken M2/3 ($p=0,021$) (SI -17,75% \pm 18,24%) im Unterschied zur anderen Seite bei Erhöhung des Wertes vom Hallux (n.s.) (SI 4,74% \pm 39,49%) auf der linken Beinseite. Dezent Erhöhungen weisen auf der linken Seite die Werte von der Ferse zentral (n.s.) (SI 7,51% \pm 24,39%) bei einem SI für FK von 7,07% (\pm 23,31%) und von M1 (n.s.) (SI 12,33% \pm 20,31%) auf. Ein größerer Unterschied, der bei den absoluten Relativimpulsen [%] nicht auffällt, zeigt sich in dem SI-Wert von -31,59% (\pm 58,44%) von dem Rol M5.

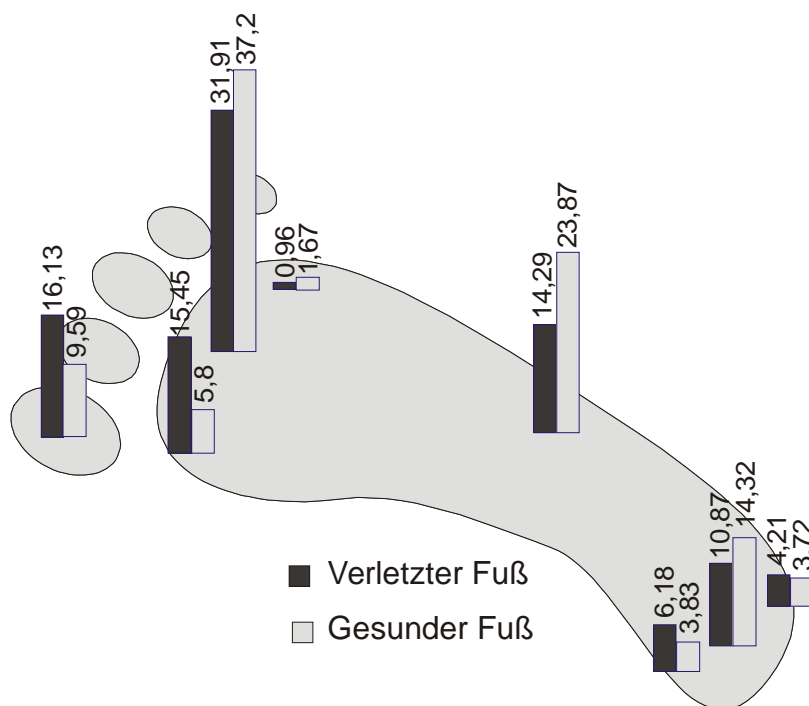
14 bis 17 Jahre:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | \pm SD |
|---|---------------------------------|----------|---------|---------------------------------|----------|
| Probanden | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| 14 - 17 Jahre (N=11) | | | | | |
| FZ | 20,40% \pm 3,88% | | 0,374 | 19,11% \pm 3,41% | |
| FM | 7,36% \pm 2,38% | | 0,657 | 7,46% \pm 3,30% | |
| FL | 5,44% \pm 1,48% | | 0,790 | 5,84% \pm 2,39% | |
| GM | 5,92% \pm 4,01% | | 0,110 | 7,22% \pm 4,09% | |
| M1 | 16,11% \pm 5,63% | | 0,328 | 14,28% \pm 6,02% | |
| M2und3 | 27,11% \pm 7,30% | | 0,859 | 26,55% \pm 7,37% | |
| M5 | 1,02% \pm 0,43% | | 0,929 | 1,09% \pm 0,61% | |
| H | 16,64% \pm 6,31% | | 0,722 | 18,45% \pm 7,28% | |
| FK | 33,21% \pm 6,15% | | 0,722 | 32,41% \pm 5,84% | |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| 14 - 17 Jahre | | | | | |
| <i>gutes klin. Ergebnis (N=17)</i> | | | | | |
| FZ | 17,44% \pm 3,38% | | 0,943 | 17,59% \pm 4,96% | |
| FM | 6,97% \pm 1,88% | | 0,981 | 6,91% \pm 2,38% | |
| FL | 5,49% \pm 1,90% | | 0,943 | 5,54% \pm 1,82% | |
| GM | 13,14% \pm 6,19% | | 0,149 | 15,32% \pm 7,72% | |
| M1 | 12,15% \pm 5,41% | | 0,463 | 12,79% \pm 5,24% | |
| M2und3 | 30,84% \pm 7,49% | | 0,407 | 30,22% \pm 9,23% | |
| M5 | 0,97% \pm 0,66% | | 0,868 | 0,98% \pm 0,45% | |
| H | 13,00% \pm 6,78% | | 0,102 | 10,54% \pm 5,53% | |
| FK | 29,90% \pm 6,07% | | 0,906 | 30,15% \pm 8,25% | |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis (N=1)</i> | | | | | |
| FZ | 10,87% | | | 14,32% | |
| FM | 6,18% | | | 3,83% | |
| FL | 4,21% | | | 3,72% | |
| GM | 14,29% | | | 23,87% | |
| M1 | 15,45% | | | 5,80% | |
| M2und3 | 31,91% | | | 37,20% | |
| M5 | 0,96% | | | 1,67% | |
| H | 16,13% | | | 9,59% | |
| FK | 21,26% | | | 21,86% | |

Tabelle 26 Relativimpulswerte [%] Probanden und Patienten (14-17 Jahre)

Die Patienten mit dem guten klinischen Ergebnis zeigen eine leichte Erhöhung des Relativimpulses GM (n.s.) (SI $-16,16\% \pm 43,68\%$) und eine leichte Verminderung des Wertes unter dem Hallux (n.s.) (SI $20,75\% \pm 53,77\%$) auf der unverletzten Beinseite im Vergleich zur Fraktur-Seite.

Der Patient mit schlechtem Clinical Score zeigt eine Entlastung der Ferse medial (SI 47,10%) und von M1 (SI 90,78%) der unverletzten Seite. Auf dieser Beinseite werden erhöhte Werte unter der Gewölbemitte (SI -50,21%), unter M2/3 (SI -15,30%) und unter M5 (SI -54,38%) verzeichnet. Unter der Fußsohle des ehemals verletzten Beines finden sich ein verminderter Wert von der Ferse zentral (SI -27,41%) und ein erhöhter Wert des Hallux (SI 50,87%) im Vergleich zur anderen Beinseite. Die Ferse komplett (FK) zeigt einen SI-Wert nahe 0 (SI -2,81%). Daraus ergibt sich eine Entlastung der medialen Seite des Fußes des unverletzten Beines, während der andere Fuß auf der Fußinnenseite verstärkt belastet wird (siehe Graphik 15).



Graphik 15
Relativimpuls [%](N=1),
Patient mit schlechtem
klinischen Ergebnis (14-
17 Jahre)

Der Vergleich von diesem Patienten zu den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis zeigt verminderte Werte unter der Ferse zentral (Fraktur-Seite), medial (gesunde Seite), M1 (gesunde Seite) und unter FK bds. bei erhöhten Werten unter GM (gesunde Seite) und unter M5 (gesunde Seite).

Bei den Probanden sind die Werte unter der Gewölbemitte (n.s.) (SI -32,80% ± 55,42%) und unter dem Hallux (n.s.) (SI -9,34% ± 39,65%) auf der linken Beinseite vermindert und der Relativimpuls unter M1 (n.s.) (SI 11,84% ± 33,53%) auf dieser Seite im Vergleich zur anderen leicht erhöht.

Im Vergleich der Probanden mit den Patienten mit gutem klinischen Outcome zeigt sich, dass der Relativimpuls der Ferse zentral und von FK etwas höher liegt bei den Probanden. Ferner ist ein leicht erhöhter Wert von den Probanden unter M1 bds. zu

verzeichnen. Die Werte der Gewölbemitte sind bei den Patienten stark, von M2/3 etwas erhöht, vom Hallux vermindert bds. im Vergleich zu den Probanden.

Die SI-Werte beider Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

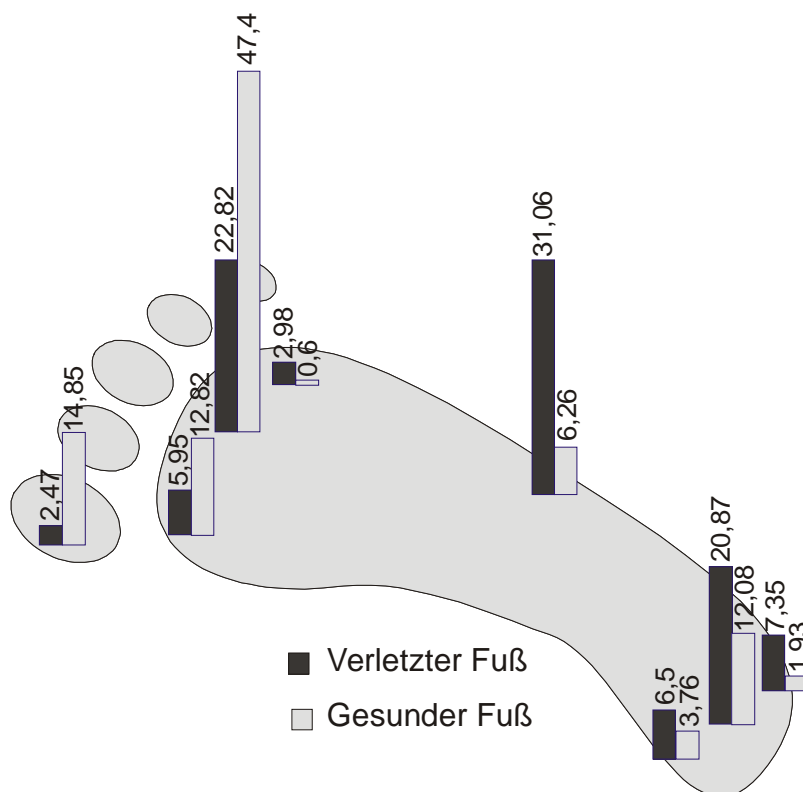
18 bis 24 Jahre:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | ±SD |
|--|---------------------------------|-----|--------------|---------------------------------|-----|
| Probanden | linker Fuß | | | rechter Fuß | |
| 18 - 24 Jahre (N=26) | | | | | |
| FZ | 17,83% ± 4,68% | | 0,118 | 19,02% ± 4,25% | |
| FM | 8,22% ± 1,94% | | 0,010 | 7,24% ± 2,03% | |
| FL | 5,69% ± 1,54% | | 0,585 | 5,48% ± 1,29% | |
| GM | 7,92% ± 4,83% | | 0,248 | 8,51% ± 5,17% | |
| M1 | 15,99% ± 5,75% | | 0,970 | 15,88% ± 5,91% | |
| M2und3 | 27,04% ± 8,03% | | 0,341 | 28,37% ± 7,10% | |
| M5 | 0,91% ± 0,65% | | 0,485 | 0,93% ± 0,65% | |
| H | 16,41% ± 6,90% | | 0,166 | 14,57% ± 5,75% | |
| FK | 31,60% ± 7,14% | | 0,929 | 31,63% ± 7,12% | |
| Patienten | verletzter Fuß | | | gesunder Fuß | |
| 18 - 24 Jahre | | | | | |
| <i>gutes klin. Ergebnis (N=13)</i> | | | | | |
| FZ | 17,56% ± 6,15% | | 0,917 | 17,05% ± 4,38% | |
| FM | 7,31% ± 2,34% | | 0,249 | 6,58% ± 1,67% | |
| FL | 5,59% ± 1,68% | | 0,173 | 6,26% ± 2,16% | |
| GM | 11,88% ± 7,40% | | 0,196 | 13,16% ± 7,51% | |
| M1 | 14,07% ± 4,15% | | 0,917 | 14,07% ± 5,15% | |
| M2und3 | 27,26% ± 4,99% | | 0,753 | 26,88% ± 8,25% | |
| M5 | 0,83% ± 0,50% | | 0,917 | 0,95% ± 0,85% | |
| H | 15,50% ± 5,56% | | 0,861 | 15,06% ± 6,81% | |
| FK | 30,46% ± 8,69% | | 0,917 | 29,88% ± 6,92% | |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis (N=2)</i> | | | | | |
| FZ (32); (37) | 20,87%; 26,18% | | | 12,08%; 21,24% | |
| FM | 06,50%; 11,74% | | | 03,76%; 09,78% | |
| FL | 07,35%; 11,30% | | | 01,93%; 10,79% | |
| GM | 31,06%; 38,00% | | | 06,26%; 09,94% | |
| M1 | 05,95%; 01,05% | | | 12,82%; 09,52% | |
| M2und3 | 22,82%; 07,48% | | | 47,70%; 26,76% | |
| M5 | 02,98%; 00,79% | | | 00,60%; 00,50% | |
| H | 02,47%; 03,46% | | | 14,85%; 11,48% | |
| FK | 34,72%; 49,22% | | | 17,77%; 41,81% | |

Tabelle 27 Relativimpulswerte [%] Probanden und Patienten (18-24 Jahre)

Die Patienten, deren klinisches Ergebnis gut ausfällt, zeigen eine leichte Verringerung des Relativimpulses der Gewölbmitte auf der Fraktur-Seite zur gesunden (n.s.) (SI $-13,44\% \pm 31,97\%$), sowie der Ferse lateral (n.s.).

Bei beiden Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis finden sich eine vermehrte laterale Belastung des ehemals verletzten Fußes, eine vermehrte Belastung der Ferse, sowie ein verminderter Relativimpuls unter dem Hallux auf dieser Seite: Der Patient 32 mit dem schlechten Outcome weist auf der verletzten im Unterschied zur unverletzten Seite erhöhte Werte unter der Ferse zentral (SI 53,35%) und stark erhöhte Werte unter der Gewölbmitte (SI 132,87%) und unter M5 (SI 132,69%) bei erniedrigten Relativimpulsen unter M1 (SI $-73,29\%$) und stark erniedrigten unter dem Hallux (SI $-143,03\%$) auf. Auf der unverletzten Seite fallen im Vergleich zur anderen Beinseite erniedrigte Werte unter der Ferse medial (SI 53,49%), stark erniedrigte



unter der Ferse lateral (SI 116,89%) und der Ferse komplett (FK) (SI 64,62%) bei einem stark erhöhten Relativimpuls von M2/3 (SI $-70,54\%$) auf (siehe Graphik 16).

Graphik 16
Relativimpuls [%], Nr. 32
(schlechtes klinisches
Ergebnis) (18-24 Jahre)

Daraus ist eine verstärkte Belastung der Ferse des verletzten Beines im Vergleich zur gesunden Seite zu erkennen bei vermehrter Lateralisationstendenz. Der Vergleich des Patienten 32 mit den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis dieser Altersgruppe zeigt verminderte Werte unter der Ferse medial und lateral, sowie von FK auf der unverletzten Seite bei erhöhtem Wert unter M2/3 dieser Seite. Auf der Fraktur-Seite sind die Werte unter der Gewölbmitte und unter M5 erhöht, unter M1 und dem Hallux vermindert.

Patient 37 hat auf der verletzten Seite im Unterschied zur anderen die Relativimpulse von der Ferse zentral (SI 20,86%) und medial (SI 18,20%) und von FK (SI 16,29%) leicht, der Gewölbmitte (SI 117,04%) stark erhöht. Die Werte von M1 (SI – 160,17%), von M2/3 (SI –112,64%) und vom Hallux (SI –107,31%) sind stark auf der Fraktur-Seite erniedrigt. Im medialen Vorfuß und Großzehenbereich wird der verletzte Fuß entlastet, während er im mittleren Abschnitt verstärkt belastet wird. Im Vergleich zu den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis sind die Relativimpulse der Ferse komplett (FK) bds. erhöht. Dies lässt auf eine verhältnismäßige stärkere Belastung der Ferse schließen. Ferner finden sich verminderte Werte unter M1, M2/3 und unter Hallux der Fraktur-Seite bei erhöhtem Wert unter der GM dieser Seite in dem zuvor genannten Vergleich.

Bei den Probanden liegt eine Erhöhung des relativen Impulses RI von der medialen, linken Ferse im Vergleich zur rechten vor ($p=0,010$) (SI 14,46% \pm 26,97%). Eine Erhöhung findet sich auch auf dieser Seite unter dem Hallux (n.s.) (SI 11,35% \pm 36,13%). Auf der rechten Beinseite gibt es eine Erhöhung der Werte der Ferse zentral (n.s.) (SI –7,19% \pm 22,12%) und des M2/3 (n.s.) (SI –6,41% \pm 24,78%).

Im Vergleich der Patienten mit gutem klinischen Ergebnis zu den Probanden findet man eine Erhöhung der RI unter der Gewölbmitte bds. bei diesen Patienten. Die SI-Werte unterscheiden sich in diesem Vergleich nicht signifikant voneinander.

3.5.6. MLF, FFI, VFI [] mit Zusammenfassung Relativimpuls/Maximaldruck:

| Altersgruppe (N=Anzahl)(Pat. Nr.) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | | | (p=...) | Mittelwert bzw. Wert 1, 2, 3 | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------|--------------|---------|---------------------------------|----------|--|
| | | \pm SD | | | | \pm SD | |
| Probanden | linker Fuß | | | | rechter Fuß | | |
| 10 - 13 Jahre (N=9) | | | | | | | |
| FFI SI –11,16% (\pm 41,81%) | 3,38 \pm | 3,69 | 0,515 | | 2,99 \pm | 1,80 | |
| VFI SI –13,52% (\pm 33,79%) | 1,06 \pm | 0,23 | 0,173 | | 1,25 \pm | 0,42 | |
| MLF SI 37,27% (\pm 39,16%) | 3,63 \pm | 1,89 | 0,021 | | 2,23 \pm | 0,68 | |
| 14 - 17 Jahre (N=11) | | | | | | | |
| FFI SI 15,41% (\pm 43,51%) | 3,18 \pm | 1,74 | 0,929 | | 2,84 \pm | 1,99 | |
| VFI SI 4,03% (\pm 33,53%) | 1,41 \pm | 0,51 | 0,790 | | 1,35 \pm | 0,43 | |
| MLF SI 14,25% (\pm 51,3%) | 4,13 \pm | 3,21 | 0,477 | | 3,20 \pm | 1,71 | |
| 18 - 24 Jahre (N=26) | | | | | | | |
| FFI SI –14,46% (\pm 44,09%) | 3,32 \pm | 1,96 | 0,209 | | 3,81 \pm | 2,39 | |
| VFI SI –3,61% (\pm 27,36%) | 1,48 \pm | 0,48 | 0,694 | | 1,52 \pm | 0,47 | |
| MLF SI 9,97% (\pm 34,01%) | 3,33 \pm | 1,80 | 0,304 | | 2,86 \pm | 1,18 | |

| Patienten | verletzter Fuß | gesunder Fuß |
|---|------------------|------------------|
| <i>gutes klin. Ergebnis</i> | | |
| 10 - 13 Jahre (N=3)(8);(20);(23) | | |
| FFI SI 44,32%; 39,49%; 49,34% | 3,60; 2,23; 7,07 | 2,29; 1,50; 4,27 |
| VFI SI 11,73%; -19,1%; 6,7% | 1,10; 0,95; 4,69 | 0,98; 1,15; 4,38 |
| MLF SI -49,94%; -64,4%; -11,31% | 5,77; 1,03; 2,31 | 9,62; 2,00; 2,59 |
| 14 - 17 Jahre (N=17) | | |
| FFI SI -19,69% ($\pm 55,54\%$) | 4,81 \pm 4,466 | 0,193 |
| VFI SI 0,57% ($\pm 49,29\%$) | 1,56 \pm 0,491 | 0,981 |
| MLF SI 14,78% ($\pm 58,60\%$) | 1,92 \pm 1,086 | 0,227 |
| 18 - 24 Jahre (N=13) | | |
| FFI SI -3,24% ($\pm 49,85\%$) | 3,19 \pm 1,79 | 0,972 |
| VFI SI 1,23% ($\pm 39,51\%$) | 1,52 \pm 0,54 | 0,972 |
| MLF SI 14,46% ($\pm 27,56\%$) | 2,62 \pm 1,81 | 0,075 |
| <i>schlechtes klin. Ergebnis</i> | | |
| 14 - 17 Jahre (N=1)(31) | | |
| FFI SI -43,47% | 3,00 | 4,66 |
| VFI SI 10,64% | 2,27 | 2,04 |
| MLF SI 98,88% | 1,94 | 0,66 |
| 18 - 24 Jahre (N=2)(32);(37) | | |
| FFI SI 103,09%; -17,34% | 12,87; 2,69 | 4,12; 3,20 |
| VFI SI -116,02%; -129,14% | 0,91; 0,19 | 3,44; 0,88 |
| MLF SI -163,36; -126,83% | 0,36; 0,32 | 3,57; 1,45 |

Tabelle 28 MLF, FFI, VFI [] und SI [%] Probanden und Patienten

An dieser Stelle wird noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Maximaldruck eine gemessene maximale Druck-Spitze [N/cm²] darstellt, während die Impulswerte sich auf die Kraft (in %Körpergewicht) pro Zeit beziehen [%KG*s]. Zur Berechnung von MLF, FFI und VFI werden Relativimpulswerte verwendet.

Die Relativimpulse stellen mitunter das Wichtigste dar, da sie unabhängig von der gemessenen Höhe der Druckmaxima sind und den Vergleich der Rol erlauben. Die RI sagen jedoch nichts über absolute Werte aus, sondern stellen die prozentuale Belastung unter der Fußfläche dar.

Zum Vergleich der maximal aufgetretenen Druckwertspitzen werden hier die Maximaldruckwerte hinzugezogen. Die unterschiedlichen Belastungsverteilungen der Fußfläche einer Seite spiegeln sich in den Werten MLF, FFI und VFI (Tabelle 28) wider.

Gutes klinisches Ergebnis (10-13 Jahre):

Bei Patient Nr. 8 zeigen sich auf der verletzten Beinseite erhöhte Relativimpulse unter M5 mit Entlastung des Hallux im Seitenvergleich. Die Entlastung des Hallux im Vergleich zur Metatarsalregion auf der verletzten Seite sieht man beim FFI. Der MLF zeigt eine Lateralisationstendenz des verletzten Beines im Seitenvergleich. Interindividuell zeigt Patient Nr. 8 erhöhte MLF-Werte bds. zu den Probanden auf. Dies weist auf eine Medialisationstendenz des Patienten bds. hin, die auf der unverletzten Seite ausgeprägter ist. Die Spitzendrücke gehen mit oben genannten Veränderungen konform einher.

Nr. 20 zeigt eine vermehrte lateralseitige Belastung auf der verletzten Beinseite, während auf der gesunden Seite der Relativimpuls unter M1 erhöht ist im Seitenvergleich. Ebenfalls ist der Druck unter der Großzehe auf der frakturierten Seite vermindert. Der FFI ist auf der unverletzten Seite im Seitenvergleich etwas geringer, das heißt die Großzehe wird hier etwas vermehrt im Vergleich zur Metatarsalregion belastet. Der MLF weist auf der verletzten Seite auf eine Lateralisationstendenz intra- und interindividuell hin. Im Seitenvergleich zeigen die Spitzendrücke erhöhte Werte ebenfalls unter M1 und dem Hallux der gesunden Seite.

Nr. 23: Bei den RI fällt ebenfalls eine vermehrte Belastung des Vorfußes (Hallux, M1) auf der unverletzten Beinseite auf. Im interindividuellen Vergleich wird die Ferse bds. stark entlastet bei vermehrter Vorfußbelastung (M2/3) auf dieser Seite (VFI). Der FFI zeigt die verhältnismäßig geringere Belastung der Großzehe zur Metatarsalregion auf der verletzten Seite im Seitenvergleich und im Vergleich zu den Probanden. Interindividuell finden sich erhöhte Maximaldrücke unter FL, GM, M1, M2/3 bds., hingegen ist der Maximaldruck unter dem Hallux vermindert.

Alle drei Patienten (Nr. 8, 20, 23) entlasten den Hallux auf der verletzten Seite im Seitenvergleich (bezüglich Maximaldruck und den Relativimpulsen).

Gutes klinisches Ergebnis (14-17 und 18-24 Jahre):

Bei den 14-17 und 18-24 jährigen Patienten zeigt sich eine nicht-signifikante Entlastung unter der Gewölbemitte auf der verletzten Beinseite, bei nur geringen (n.s.) Unterschieden bei den Relativimpulsen bei beiden Altersgruppe.

Eine etwas stärkere Entlastung der Großzehe auf der gesunden Seite spiegelt sich im FFI (bei den 14-17 Jährigen) (n.s.) wider, ebenso im Vergleich zu den Probanden. MLF-Werte, die auf eine lateralseitig vermehrte (n.s.) Belastung, vor allem auf der gesunden Seite hinweisen liegen bei der mittleren Altersgruppe vor. Der Vorfuß-Fersen-Index ist annähernd gleich im Seitenvergleich.

In interindividueller Hinsicht findet man bei den 18-24 Jährigen mit gutem Ergebnis eine Erhöhung der RI unter GM bds. bei den Patienten. Es liegen bei der ältesten Patientengruppe mit gutem Ergebnis fast annähernd gleiche FFI, VFI-Werte vor, der MLF-Wert ist etwas auf dem verletzten Fuß erhöht im Seitenvergleich, interindividuell zu den Probanden dieser Altersgruppe, wie bei den 14-17 Jährigen jedoch erniedrigt. Die Symmetrie-Indices von MLF, FFI und VFI unterscheiden sich nicht-signifikant zwischen den Probanden und Patienten. Der etwas erhöhte MLF-Wert spricht für eine geringe Medialisationstendenz auf der verletzten Seite.

Bei beiden Altersgruppen zeigt sich eine (n.s.) Entlastung unter dem Hallux auf der gesunden Seite bezüglich des Spitzendruckes im Seitenvergleich. Bei der ältesten Gruppe zeigt sich jedoch eine mediallyseitige Entlastung des gesunden Beines (n.s.) im Seitenvergleich, während bei der mittleren Altersgruppe mit gutem klinischen Ergebnis eine **signifikante** ($p=0,039$) Entlastung der medialen Ferse auf der verletzten Beinseite bezüglich des Spitzendruckes vorhanden ist.

Schlechtes klinisches Ergebnis (14-17 und 18-24 Jahre):

Der Patient mit schlechtem Ergebnis (14-17 Jahre) zeigt bei Betrachtung der Relativimpulse eine starke Entlastung der medialen Seite des unverletzten Fußes, während der andere Fuß auf der Fußinnenseite verstärkt belastet wird. Der FFI (SI – 43,47% !) weist im Seitenvergleich auf der verletzten Seite auf eine vermehrte Belastung der Großzehe im Verhältnis zur Metatarsalregion hin. Der MLF (SI 98,88% !) zeigt deutlich die vermehrte lateralseitige Belastung des Fußes auf der gesunden Seite im Seitenvergleich an. Der VFI ist annähernd seitengleich, jedoch im Vergleich zu den Patienten mit gutem klinischen Ergebnis erhöht, das heißt der Vorfuß wird bds. verhältnismäßig zur Ferse mehr belastet. Die Spitzendruckwerte zeigen ebenfalls stark erhöhte laterale Werte (GM, M2/3, M5), bei stark vermindertem Wert unter M1 auf der gesunden Seite im Seitenvergleich.

Die älteste Gruppe zeigt insgesamt eine lateral vermehrte Belastung des verletzten Beines, eine vermehrte Belastung der Ferse bei verminderter Belastung des Hallux auf dieser Seite. Dies zeigt sich unter anderem ebenfalls im MLF und VFI: Bei Nr. 32 (schlechtes klinisches Ergebnis) fällt eine deutlich stärkere lateralseitige RI-Belastung unter dem ehemals verletzten Extremität im Seitenvergleich auf, sowie bei den Symmetrie-Index-Werten von MLF (SI –163,36% !). Auf der unverletzten Seite wird die Ferse entlastet bei wesentlich vermehrter Belastung von M2/3. Ebenfalls zeigt das der VFI (SI –116,02% !). Im interindividuellen Vergleich zeigt sich, dass die Ferse auf der unverletzten Seite entlastet, auf der Frakturseite lateralseitig vermehrt belastet wird. Der FFI (SI 103,09% !) zeigt einen stark erhöhten Wert auf der verletzten Beinseite im Seitenvergleich, das heißt der Hallux wird hier wesentlich stärker zur Metatarsalregion entlastet als auf der anderen Beinseite, sowie im Vergleich zu den Probanden und den anderen Patienten. Auch die Spitzendruckwerte zeigen sehr hohe Werte unter der Gewölbmitte und unter M5 auf der verletzten Beinseite auf, während auf der unverletzten Seite die Ferse lateral entlastet und M2/3 und der Hallux hier stark vermehrt Spitzendruck-belastet wird.

Nr. 37 zeigt bei den Relativimpulsen auf der Frakturseite im intraindividuellen Vergleich im medialen Vorfuß- (M1, M2/3) und Großzehenbereich eine Entlastung, während der Fuß in der Gewölbmitte vermehrt belastet wird. Die Ferse wird etwas vermehrt belastet auf dieser Seite. Der VFI (SI –129,14% !) weist jedoch insgesamt auf eine verhältnismäßig vermehrte Belastung der Ferse zur Vorfußregion auf der gebrochenen Seite im Seitenvergleich hin, sowie interindividuell im Vergleich zu den

Probanden und Patienten. Der MLF (SI -126,83% !) zeigt deutlich eine vermehrte laterale Fußflächenbelastung auf der gebrochenen im Vergleich zur unverletzten Seite. Der Vergleich der Relativimpulse von Nr. 37 zu den Patienten mit gutem Ergebnis in dieser Altersgruppe zeigt eine verhältnismäßig stärkere Belastung der Ferse bds., sowie der Gewölbemitte auf der Frakturseite bei Entlastung des medialen Vorfußes (Hallux, M1, M2/3) auf der ehemals verletzten Seite des Patienten. Die Maximaldrücke sind unter der Ferse zentral und medial, sowie unter M1 und M2/3 unter dem verletzten Fuß vermindert im intraindividuellen Vergleich. Dafür wird die Gewölbemitte vermehrt auf dieser Seite Spitzendruck-belastet.

Probanden (10-13, 14-17 und 18-24 Jahre):

In der jüngsten Gruppe fällt eine **signifikante** Verminderung der RI der linken Gewölbemitte ($p=0,028$) (analog $p=0,012$ beim Spitzendruck) und von dem linken M2/3 ($p=0,021$) im Seitenvergleich bei (n.s.) Erhöhung des Halluxwertes auf der linken Beinseite auf. FFI und VFI zeigen nicht-signifikante Unterschiede, während der MLF **signifikante** Unterschiede ($p=0,021$) im Seitenvergleich aufweist. Es liegt eine lateralseitige geringere Belastung links im Seitenvergleich zu rechts vor.

In der mittleren Altersgruppe sind die RI-Werte unter der Gewölbemitte und dem Hallux links (n.s.) vermindert, unter M1 links leicht (n.s.) im Seitenvergleich erhöht. Die Symmetrie-Indices der Werte MLF, FFI und VFI der Patienten unterscheiden sich nicht-signifikant von den der Probanden. Die Maximaldruckwerte sind unter der linken lateralen Ferse (n.s.) intraindividuell, sowie unter M2/3 links (n.s.) und unter dem Hallux links (n.s.) erniedrigt. Der SI-Wert für die Ferse medial (Maximaldruck) unterscheidet sich **signifikant** ($p=0,029$) von den Patienten der Altersgruppe mit gutem Ergebnis, wobei bei diesen eine **signifikante** Entlastung der medialen Ferse auf der verletzten Seite gefunden worden ist.

In der ältesten Gruppe der Probanden findet sich eine **signifikante** ($p=0,010$) Erhöhung der Relativimpulse unter der medialen, linken Ferse im Seitenvergleich vor. Rechts finden sich erhöhte RI-Werte unter der Ferse zentral (n.s.) und unter M2/3 (n.s.). Der VFI zeigt nur minimale (n.s.) Unterschiede, der MLF und FFI ebenfalls. Zwischen Probanden und Patienten dieser Altersgruppe finden sich keine signifikanten Unterschiede bei den MLF, FFI und VFI. Beim Maximaldruck findet sich unter M2/3 links zur rechten Seite ein **signifikant** ($p=0,021$) verminderter Wert.

4. Diskussion

Ziel dieser Untersuchung ist die vergleichende Analyse des Fußes sowohl intraindividuell zwischen unverletzter unterer Extremität und ehemals bei sprunggelenksnaher Unterschenkelfraktur im Kindes- bzw. Jugendlichenalter osteosynthetisch versorgter Extremität, als auch interindividuell zu einem Normalkollektiv.

4.1. Diskussion der Methode

Pedographie – Kritische Betrachtung

Neben subjektiven Punkten, wie der Fragebogen und neben der klinischen Untersuchung wird in dieser Arbeit die Pedographie hinzugezogen. „Sie wird zur Barfußmessung verwendet und erlaubt eine neutrale, objektive und gut wiederholbare Beurteilung der Fußfunktion während des Bodenkontaktes unter dynamischen Belastungsbedingungen“ (Fritsch et al. (2004)). Zahlreiche Studien verwenden diese als zusätzliches objektives Kriterium, zum Beispiel

Seebeck et al. (2005), Hong et al. (2005), Burns et al. (2005), Drerup et al. (2001), Maluf et al. (2003), Mittlmeier et al. (1994), Rosenbaum et al. (1993).

Die Durchführung der Pedographie ist einfach. Auch der Zeitaufwand ist nicht ausgeprägt. Das Ausfüllen des Fragebogens, die klinische und die pedographische Untersuchung dauern zusammen circa 60 Minuten. Weitere Vorteile sind, dass die Untersuchung nicht schmerzhaft ist, keine gesundheitliche Beeinträchtigung darstellt und der Versuchsaufbau mit dem Laufsteg und dem Computer sich nicht komplex gestaltet.

Die Pedographie wird als zusätzliches Instrument zur Ganganalyse verwendet.

Attinger (1987) zeigt auf, dass die verwendete Gangbeurteilung dem ungeübten Beobachter Probleme bietet. Auch geübte Personen können nur diejenige Beinseite mit genügender Treffsicherheit benennen, die länger belastet wird. Es kann jedoch „kein Zusammenhang zwischen geschätztem und gemessenem Grad von zeitlicher und belastungsmässiger Asymmetrie festgestellt werden“.

So wird die apparative Ganganalyse zunehmend als zusätzliches Instrument eingesetzt. Auch Hughes (1993) beschreibt die Pedographie als gutes Instrument für die Verlaufsdokumentation.

Insgesamt sind drei Abdrücke je Seite pro Person aufgezeichnet. Hughes et al. (1991) empfehlen mindestens drei Messungen durchzuführen. Es ergeben sich hohe

Reliabilitätskoeffizienten von 0,971 für die Fußfläche, 0,954 für die Bodenreaktionskraft, 0,981 für die Impulswerte, 0,904 für den Maximaldruck. Drei bis fünf Abdrücke empfehlen neben Hughes et al. (1991) auch McPoil et al. (1999), Bus et al. (2005) und Wearing et al. (1999) zum Beispiel.

Die Pedographie eignet sich in dieser Arbeit somit gut für die Erfassung der gewünschten Parameter.

Gruppenbildung:

Aufgrund der besonderen Verhältnisse bei Kindern werden die Patienten- und Probandengruppen in drei Altersbereiche unterteilt.

Bei Hennig et al. (1994) besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen der Schuljungen (102 ± 14,3 Monate) und Schulmädchen (100 ± 12,1 Monate) unter Bezugnahme auf das Alter und die Körpergröße. In dieser Studie war das Gewicht der Jungen etwas größer (8%). Auch Murphy et al. (2005) können keinen signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen aufzeigen. Daher wird zwischen den Geschlechtern kein Unterschied angenommen. Es erfolgt somit keine weitere Unterteilung in männlich und weiblich in den drei Altersgruppen.

Jedoch besteht in den Altersgruppen 14 bis 17 und 18 bis 24 Jahre in dieser Arbeit ein **signifikanter** Unterschied zwischen dem Gewicht der Probanden und der Patienten. Ein direkter Vergleich der Patienten und Probanden innerhalb der Altersgruppe erfolgt trotzdem, da verschiedene Untersuchungen eine sehr geringe Korrelation zwischen dem Körpergewicht und dem Maximaldruck unter der Fußsohle herausgefunden haben (Cavanagh et al. (1987); Clarke (1980); Hennig (1984); Hennig et al. (1991), Cavanagh et al. (1991), Schaff (1994), Hills et al. (2001), Drerup et al. (2003)).

Ferner sind Werte wie zum Beispiel die Relativimpulse vom Körpergewicht unabhängig bzw. relativieren Werte wie die Bodenreaktionskraft [%KG] das Körpergewicht. Deswegen wird auf einen interindividuellen Vergleich nicht verzichtet.

Außerdem wird darauf verzichtet, die pedographischen Ergebnisse im Hinblick auf den Frakturtyp und damit auf die Schwere der Verletzung zu analysieren. Somit wird auf eine weitere Aufspaltung in viele Gruppen mit noch kleineren Fallzahlen verzichtet.

Bis jetzt findet sich in der Literatur keine Arbeit zu sprunggelenksnahen Unterschenkelfrakturen bei Kindern, die pedographisch nachuntersucht werden. Die

pedographischen Ergebnisse des Erwachsenen können nach Hennig et al. (1994) nicht einfach in das Kindesalter übernommen und damit als Vergleichswerte herangezogen werden.

Ferner erfolgt eine weitere Gruppenbildung mit Hilfe des modifizierten Clinical Score nach Phillips et al. (1985). Modifiziert findet sich dieser zum Beispiel ebenfalls bei Mazur et al. (1979), Becker et al. (1995), Losch et al. (2002) oder bei Schmidt et al. (1999). Der Clinical Score stellt eine Hypothese dar, ist jedoch sinnvoll, um klinisch schlechte Ergebnisse zu erfassen und gesondert zu betrachten.

Datenweiterverarbeitung:

Cavanagh et al. (1987) teilen den Fußabdruck in zehn anatomische Gebiete ein. Hennig et al. (1993) weisen darauf hin, dass bei einer streng vorgegebenen geometrischen Einteilung es vorkommen kann, dass die definierten anatomischen Regionen bei Fußformabweichungen nicht der tatsächlichen Lage der anatomischen Strukturen entsprechen und Fußformabweichungen relativ häufig vorkommen. Deshalb wird in Anlehnung an Hennig et al. (1993) eine individuelle visuelle Zuordnung der Rol an die entsprechenden anatomischen Gegebenheiten vorgenommen.

Individuell muss ebenfalls das Gangbild betrachtet werden. Eine verbindliche Definition des „normalen“ Gangbildes liegt nicht vor. Als „normal“ wird oftmals die nicht eindeutig beschriebene „optimale“ Bewegungsform bzw. das Gangbild klinisch unauffälliger und beschwerdefreier Personen verstanden (Denoth (1987)).

Mittlmeier et al. (1991) weisen darauf hin: Es gibt „eine natürliche Asymmetrie im Sinne der Chiralität bzw. der Beeinträchtigung des Ganges der „gesunden“ Seite“ durch die ehemals verletzte Extremität.

Dies ist bei der Betrachtung der Symmetrie zu bedenken. Auch Herzog et al. (1989) zeigen eine Breite des Symmetrie-Indices der Bodenreaktionskraft bei 34 Variablen von ± 4 bis $\pm 13\%$ (bei $p=0,05$) bei „gesunden“ Erwachsenen bei zwei verschiedenen Versuchsaufbauten. Sie zeigen auf, dass der menschliche Gang keine perfekte Symmetrie hat.

Statistische Auswertung:

Die Notwendigkeit der Gruppenbildung (siehe oben) reduziert die Fallzahl.

Somit kann bei den drei Patienten (10-13 Jahre), sowie bei den drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis (14-24 Jahre) keine aussagekräftige statistische Auswertung erfolgen. Somit wird die deskriptive Beschreibung der Veränderungen intra- und interpersonell vorgenommen. Eine definitive Aussage verbietet sich hier. Es können jedoch tendenzielle Veränderungen dieser Personen aufgezeigt werden. Bei den anderen Gruppen kann die statistische Auswertung erfolgen. Hier jedoch sollten aufgrund der mäßigen Fallzahlen weitere Studien erfolgen.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

Fragebogen, klinische Untersuchung, Clinical Score:

Fast alle Patienten erreichen ein gutes klinisches Ergebnis. Viele Autoren berichten ebenfalls über gute Ergebnisse bis zu 90% der Fälle bei den Patienten (Becker et al. (1995), De Souza et al. (1985), Lindsjö (1985), Olerud et al. (1986), Pettrone et al. (1983), Roberts (1983), Schmidt et al. (1999), Losch et al. (2002)). Bei 30% bis 60% der Patienten mit Sprunggelenksfrakturen finden sich Restbeschwerden, wie Schmerzen oder Schwellneigung (Ahl et al. (1989), Bauer et al. (1985), Bray et al. (1989), Mont et al. (1992), Olerud et al. (1986), Phillips et al. (1985), Schmidt et al. (1999)). Dies findet sich in dieser Studie ebenfalls.

Ferner fällt eine leichte Einschränkung der Sprunggelenksbeweglichkeit bei den Patienten mit schlechtem Ergebnis auf. Auch bei Losch et al. (2002) zeigt sich eine Einschränkung der gemessenen Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk nach operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen. Dies zeigen auch de Souza et al. (1985), Bauer et al. (1985), Cimino et al. (1991), Lindsjö (1985), Phillips et al. (1985), Roberts (1983).

Die bei den Patienten gefundenen Beinlängendifferenzen gehen mit den Ergebnissen in der Literatur einher. So finden sich bei einer militärischen Untersuchung in 32% der Fälle Differenzen von 0,5 bis 1,5 cm, 4% bei mehr als 1,5 cm bei jungen Männern (Hellsing (1988)).

Anthropometrische Daten:

Auf die Unterschiede im Körpergewicht wurde oben bei der Diskussion der Gruppenbildung bereits eingegangen.

Trotz der Abweichungen des Körpergewichtes in zwei Gruppen werden Unterschiede zu den Probanden aufgezeigt. Wie bereits erwähnt, ist zu bedenken, dass Werte wie die Relativimpulse, MLF, FFI und VFI, sowie sämtliche Symmetrieindices vom Körpergewicht unabhängig sind und sich daher für Vergleiche zwischen Probanden und Patienten eignen. Ferner geht in die Bodenreaktionskraft [%KG] und in die Impulswerte [%KGs] das Körpergewicht mit ein, so dass ein Vergleich ebenfalls sinnvoll erscheint. Dies bestätigen auch Pierrynowski et al. (2001). Das Hauptaugenmerk sollte jedoch auf den intrapersonellen Vergleich gelegt werden.

Fußfläche und Bodenkontaktzeit:

Bezüglich der Analyse der Fußfläche zeigt sich annähernd Symmetrie. Dies trifft für die Probanden und die Patienten aller drei Altersgruppen bis auf die zwei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis der ältesten Gruppe zu. Bei diesen beiden finden sich ausgeprägte Fußflächendifferenzen, wobei die Fußfläche der verletzten Beinseite kleiner ist. Auch bei Schröter (2000) finden sich auf der verletzten Beinseite nach Frakturen von Femur, Tibia oder Fibula deutlich geringere Fußflächen. Dies wird bei Schröter (2000) auf den Schongang mit dadurch verminderter Weichteilbelastung zurückgeführt, so dass vermindert die Kontaktfläche des Bodens berührt werde. In dieser Studie wurden jedoch Kinder im Alter von einem halben Jahr bis zu 14 Jahren nachuntersucht (im Mittel 7,3 Jahre alt). Auch ist die Nachuntersuchungszeit nach der Verletzung bei Schröter (2000) kürzer.

Hennig et al. (1994) führen an, dass ihre Ergebnisse darauf hinweisen, dass mit dem Alter von 6 Jahren die Entwicklung des Fußgewölbes grundsätzlich abgeschlossen sei. Die Studie von Norlin et al. (1981) zeigt, dass die Entwicklung des Ganges bis zum 16. Lebensjahr anhält und besonders stark bis zum Alter von 8-10 Jahren ist. Somit ist ein genereller Vergleich mit Kindern in den verschiedenen Altersbereichen nur eingeschränkt möglich.

Auch Losch et al. (2002) deuten eine „Reduzierung des plantarflektierend wirkenden Drehmoments unmittelbar nach Standphasenbeginn am operierten OSG“ als möglichen Zweck der Entlastung der Gelenkstrukturen.

Betrachtet man nun die Bodenkontaktzeit, so fällt auf, dass annähernd gleiche Kontaktzeiten alle Patienten aufweisen, bis auf Nr. 8 (10-13 Jahre mit gutem Ergebnis), Nr. 31 (14-17 Jahre, schlechtes klinisches Ergebnis) und Nr. 37 (18-24 Jahre, schlechtes klinisches Ergebnis). Es finden sich hier stärkere Verlängerungen der Bodenkontaktzeit auf der unverletzten Seite. Nr. 32 (18-24 J., schlechtes Ergebnis) zeigt jedoch annähernd gleiche Zeiten. Die Patienten mit gutem Ergebnis (14-17 Jahren) zeigen eine geringe Verminderung der Zeit unter dem gesunden Bein, ebenso die Probanden in dem Altersbereich unter dem linken Fuß (n.s. im Seitenvergleich). Auffallend ist ferner die **signifikante** Verkürzung der Bodenkontaktzeit auf der linken Beinseite im Seitenvergleich bei den Probanden (18-24 Jahre), während die anderen Probandengruppen keine wesentlichen Unterschiede zeigen. Leichte Asymmetrien der Bodenkontaktzeit bis 5% fand auch Attinger (1987) heraus, so dass letztlich oben genannte drei Patienten hervor stechen.

Die Verlängerung der Belastungszeit des Fußes auf der unverletzten Seite dieser drei Patienten stellt vermutlich eine Möglichkeit zur Entlastung des ehemals operierten Beines dar.

Um das natürliche Gehen nicht zu beeinflussen, wurde auf eine exakte Vorgabe der Ganggeschwindigkeit verzichtet. Eine Abschätzung dieser kann an der Bodenkontaktzeit erfolgen. Es gibt bezüglich von Vorgaben unterschiedliche Meinungen in der Literatur. So verzichten auf Festlegungen der Ganggeschwindigkeit Hennig et al. (1993), demonstriert jedoch eine Ganggeschwindigkeit von 1,0 m/sec, an die sich die Versuchspersonen orientieren sollten. Schmidt et al. (1999) tolerieren nur Ganggeschwindigkeiten zwischen 2 und 4 km/h, die mithilfe von Lichtschranken gemessen werden. Becker et al. (1995) lassen die Personen mit ihrer eigenen Geschwindigkeit laufen. Sie berufen sich dabei auf Kadaba et al. (1985) und auf Murray et al. (1966), da vorgeschriebene Geschwindigkeiten das normale Gangbild stören. Ebenso haben Ganley et al. (2005), Hennig et al. (1994 ; 1991) keine Vorgaben.

Segal et al. (2004) fordern jedoch, dass die Ganggeschwindigkeit kontrolliert werden soll, da diese auf den Spitzendruck Einfluss nehme. Ebenso sehen das Hughes et al. (1991). Studien zeigen, dass es ein Fehlen von Lerneffekten oder von Unterschieden bezüglich Ermüdung gibt, wenn die Ganganalyse an verschiedenen Tagen wiederholt werde (Kadaba et al. (1989), Andrews et al. (1996)).

Die Ganggeschwindigkeit beeinflusst jedoch in anderen Studien zum Beispiel die Bodenreaktionskraft und die Gelenkstellung (Svensson et al. (1993), Grieve et al. (1966)). Shimada et al. (2006) finden heraus, dass bei Messungen an „normalen“ Probanden an drei verschiedenen Tagen eine geringe Vergleichbarkeit der Parameter vorliegt. Eine bessere sei durch Anpassung der Ganggeschwindigkeit zu erreichen. Studien von Clarke (1980) zeigen jedoch, dass eine Erhöhung der Ganggeschwindigkeit von 1,33 m/s auf 1,79 m/s (entspricht einer Erhöhung von ungefähr 33%) nur zu einer Zunahme des Maximaldruckes in allen Fußregionen von 7,2% führe.

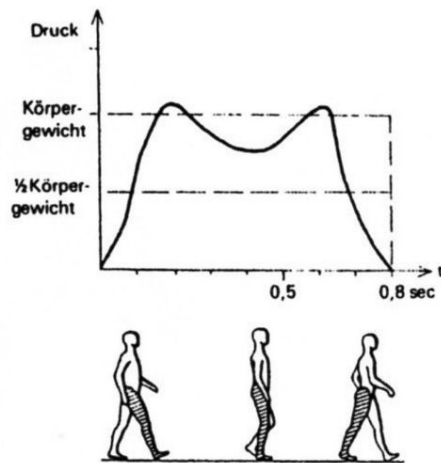
Die **signifikante** Differenz der Bodenkontaktzeit im Seitenvergleich bei den 18-24jährigen Probanden kann daher aufgrund der doch geringen Einflussmöglichkeit bei normalen Ganggeschwindigkeiten eher vernachlässigt werden, ebenso die **signifikanten** SI-Unterschiede bei den 14-17jährigen Patienten und Probanden.

Bodenreaktionskraft:

Zunächst wird auf die Spitzenkraft [%KG] eingegangen: Der Symmetrie-Index aller Altersgruppen bzw. Personen schwankt nahe um 0, abgesehen von Patienten Nr. 20 und 23. Bei allen drei Personen mit schlechtem Ergebnis ist er dezent negativ, d.h. die verletzte Seite erreicht im Seitenvergleich geringere Spitzenkraft. Ebenso liegt dies bei den Patienten, die 14-17 Jahre alt sind, vor (hier **signifikant**). Jedoch finden sich leicht erhöhte, **signifikante** Werte auf der verletzten Seite im Seitenvergleich bei den 18-24jährigen Patienten mit gutem klinischen Ergebnis. Erhöhte Werte auf der ehemals verletzten Extremität zeigen auch Patient Nr. 20 und 23 (10-13 Jahre). Die um 0 schwankenden Symmetrie-Index-Werte zeigen fast perfekte Seitengleichheit der Spitzenkraft an. Auch Schröter (2000) findet verminderte Spitzenkraftwerte im Seitenvergleich auf der verletzten Seite, was sich in einem Symmetrie-Index von -6,9 zeigt.

Bevor nun auf die Ergebnisse der Verlaufskurven von der Bodenreaktionskraft eingegangen wird, werden kurz die typischen Merkmale dieser zitiert:

„Nach dem Aufsetzen des Fußes sofort starker Druckanstieg bis über das volle Körpergewicht hinaus (Bremswirkung). Beim Abstoßen mit dem anderen Bein sinkt der Druck wieder etwas und steigt am Schluss der Standphase beim Abstoßen nochmals an“ (aus Debrunner (1988)).



Graphik 17: Verlaufskurve Bodenreaktionskraft aus Debrunner (1988), S. 84

Daraus ergeben sich typischerweise 2 Druckmaxima mit dazwischenliegendem Tal, wobei die Druckmaxima über 100% KG liegen. Mittlmeier (1991) spricht hier von einem „Kamelbuckel“, Harris et al. (1994) bezeichnen dies als „M“-förmig. Auf eine weitere Unterteilung in Parameter, wie sie z.B. Stüssi et al. (1980)

vornehmen, wird aufgrund der Komplexität verzichtet.

In der Patientenaltersgruppe 10-13 Jahre fällt ein niedrigeres 1. Maximum auf der gesunden Seite auf im Vergleich zur Gegenseite. Das 2. Maximum ist auf der unverletzten Seite bei Nr. 8 niedriger, bei Nr. 20 und 23 höher. Relativ hohe 1. und 2. Maxima finden sich bei Nr. 20 und 23 im Vergleich zu den Probanden.

Die 14-17jährigen Patienten (gutes klinisches Ergebnis) haben auf der gesunden Seite erhöhte 1. und 2. Maxima im Seitenvergleich. Bei den 18-24 Jahre alten (gutes klinisches Ergebnis) ist es wieder andersherum, hier liegen die beiden Maxima auf der Fraktur-Seite höher. M-förmig erscheinen die Kurven bei allen, bis auf bei Patient Nr. 32 (18-24 J., schlechtes Ergebnis). Abgeflacht ist das 2. Maximum bei den Patienten im Alter von 14-17 Jahren (gutes klinisches Ergebnis) auf der Fraktur-Seite.

Bei allen Patienten mit gutem Ergebnis findet sich in der Regel das zweite Maximum niedriger als das erste auf beiden Seiten, bis auf Patient Nr. 8.

Bei Patient 31 (14-17 Jahre, schlechtes Ergebnis) ist das zweite Maximum auf der verletzten Beinseite niedriger als das 2. auf der gesunden.

Zu den 18-24 jährigen Patienten mit schlechtem Ergebnis: Nr. 32 zeigt keine klare M-Förmigkeit auf beiden Fußseiten und das 2. Maximum ist höher als das 1. Maximum auf der Frakturseite. Nr. 37 hat ein höheres zweites Maximum als das erste auf beiden Seiten.

Der Trend von Patient Nr. 32 und 37 (schlechtes Ergebnis) mit höherem 2. Maximum als das 1. auf der verletzten Beinseite findet sich bei den anderen Personen, abgesehen von Person Nr. 8 (10-13 Jahre, gutes Ergebnis) nicht.

Eine exakte Aussage ist hier aufgrund der visuellen Graphikinterpretationen und aufgrund der niedrigen Fallzahl nicht definitiv machbar. Ferner gilt es zu bedenken, dass „eine verbindliche Definition des „normalen“ Gangbildes nicht vorliegt“ (Mittlmeier et al. (2005)). Jedoch zeigen sich bei Abweichungen von der „typischen“ Verlaufskurve von gesunden Probanden, dass Störungen im Gangbild vorhanden sein können, die weiter untersucht werden sollten. Der Vorteil der Verlaufskurven der Bodenreaktionskraft ist die sofortige graphische Darstellung. So kann vorab visuell erfasst werden, ob Fehlbelastungen vorhanden sein können. Eine Untersuchung weiterer Parameter ist jedoch unerlässlich.

Maximaldruck, Relativimpuls, MLF, FFI und VFI:

Die wichtigsten Gruppen stellen die Patienten im Alter 14 bis 17 und 18 bis 24 Jahre mit gutem Ergebnis dar, da hier statistische Aussagen möglich sind.

Beide Gruppen zeigen eine nicht-signifikante Entlastung unter der Gewölbemitte auf der verletzten Beinseite im Seitenvergleich, im Vergleich zu den entsprechenden Probanden jedoch erhöhte RI-Werte unter der Gewölbemitte. Beide Gruppe zeigen ferner eine (n.s.) Entlastung unter dem Hallux auf der gesunden Seite bezüglich des Spitzendruckes im Seitenvergleich. Die älteste Patientengruppe (gutes Ergebnis) zeigt eine (n.s.) mediale Entlastung des gesunden Beines im Seitenvergleich, während bei der mittleren eine **signifikante** Entlastung der medialen Ferse auf der verletzten Seite hinsichtlich des Spitzendruckes vorhanden ist.

Erhebliche Veränderungen weisen alle drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis auf. So belastet der Patienten der mittleren Gruppe lateral auf der Frakturseite vermindert, während die anderen beiden (älteste Gruppe) lateral vermehrt den Fuß belasten. Der Hallux ist bei den Ältesten auf der verletzten Seite vermindert, bei dem 14-17 Jährigen vermehrt belastet. Die ältesten beiden belasten die Ferse auf der verletzten Seite vermehrt, während bei dem anderen der Vorfuß im Verhältnis zur Ferse beidseits im interindividuellen Vergleich belastet wird.

Zwei Patienten (Nr. 8, 20)(10-13 Jahre) mit gutem Ergebnis zeigen eine vermehrte laterale Belastung unter der verletzten Extremität. Alle drei Patienten (Nr. 8, 20, 23) der jüngsten Altersgruppe entlasten den Hallux auf der verletzten Seite im Seitenvergleich.

Interessanterweise weisen die Probanden ebenfalls (zum Teil signifikante) Veränderungen auf. So liegt in der jüngsten Gruppe ein **signifikanter** Unterschied

beim MLF, der Gewölbemitte (RI und Maximaldruck) und von dem M2/3 (RI) im Seitenvergleich vor. In der mittleren Gruppe findet man **signifikante** SI-Wert-Unterschiede für die Ferse medial (Maximaldruck) zwischen den Probanden und den gleichaltrigen Patienten mit gutem Ergebnis, wobei diese Patienten eine **signifikante** Entlastung der medialen Ferse auf der verletzten Seite haben. Bei den ältesten Probanden fällt ein **signifikant** erhöhter RI-Wert unter der medialen, linken Ferse im Seitenvergleich auf, sowie ein **signifikant** verminderter Wert beim Maximaldruck unter M2/3 links zu rechts. Zu bedenken ist jedoch, dass bei den 18-24-jährigen Probanden ein **signifikanter** Bodenkontaktzeitunterschied links zu rechts vorliegt, was eventuell ebenfalls diese Abweichungen hervorrufen kann.

Ebenfalls Becker et al. (1995) zeigen bei 40 Patienten (mittleres Alter 22,8 Jahre) bei einer Ein-Jahres-Nachuntersuchung (im Mittel 18,5 Monate) bei erfolgreich operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen, dass die Patienten wie die Vergleichsgruppe asymmetrisch laufen, somit keine perfekte Symmetrie aufweisen.

Auch Schmidt et al. (1999) finden bei 49 Patienten (Durchschnittsalter 54 Jahre) mit operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen (durchschnittlich 36 Monate nach Operation) im Gesamtkollektiv keine Unterschiede zwischen verletzter und un- Seite. Jedoch liegen bei den Patienten mit Beschwerden (N=20) im Gruppenvergleich zu den ohne Beschwerden eine **signifikante** Verminderung der Belastung unter der Ferse, sowie unter dem lateralen Zehenbereich, sowie eine **signifikante** Erhöhung unter dem Hallux vor in Bezug auf den Maximaldruck. Becker et al. (1995, siehe oben) zeigen eine erhöhte Belastung im lateralen Vor- und Mittelfuß des ehemals verletzten Beines bei den Patienten mit gutem Ergebnis und einen verminderten Druck unter den Metatarsalköpfchen mit erhöhtem Wert unter dem Hallux der verletzten Seite bei den mit schlechtem Ergebnis (N=6) auf.

Ferner zeigen Becker et al. (1997) bei funktionell-instabilen Sprunggelenks-Patienten im intraindividuellen Vergleich am instabilen Fuß eine vermehrte Lateralbelastung, während die mechanisch instabilen Patienten den betroffenen Fuß vermehrt medialseitig belasten. „Die lateral orientierte plantare Druckverteilung in der funktionellen Gruppe weist auf eine eventuelle Störung der gelenkprotektiven Muskulatur hin“.

Bauer et al. (1993) finden in über der Hälfte der nachuntersuchten Patienten (N=20) mit operativ versorgten Metatarsale-V-Basisfrakturen eine Belastungsasymmetrie mit Entlastung der verletzten Seite im Seitenvergleich. Diese Asymmetrie wird auf

automatisiertes Schonverhalten zurückgeführt. Auch Losch et al. (2002) führen eine Reduzierung des plantarflektierend wirkenden Drehmoments unmittelbar auf eine Schonhaltung „zum Zwecke der Entlastung der Gelenkstrukturen“ an. Schonverhalten als Erklärung findet sich ebenfalls bei Becker et al. (1995).

Ferner ist zu beachten, dass, zum Beispiel wie bei Perttunen et al. (2004) beschrieben, bei Beinlängendifferenzen zwischen 1,7 und 5 cm eine zunehmende Asymmetrie der Beinbelastung ab 2,5 cm Längendifferenz vorhanden ist. Es komme an der längeren Extremität zu einer Verschiebung der maximalen Druckbelastung in den Vorfuß- und Großzehenbereich. Dies kann eventuell die starken Abweichungen bei Patient 37 erklären, jedoch nicht bei den anderen mit schlechtem Ergebnis.

In ganz besonderem Maße muss man in dieser Arbeit beachten, dass die operativ versorgten Kinder sich noch im Wachstum befinden und dieses je nach Zeitpunkt des Traumas noch Einfluss nimmt. So können sich eventuell die traumatischen Veränderungen mit der Zeit ausgleichen. Menkveld et al. (1988) führen an, dass Veränderungen in Größe und Beinlänge mit fortschreitendem Alter die Hauptursache für die gemessenen Unterschiede bei der Ganganalyse von normalen Schulkindern (4-16 Jahre) sei. Die Autoren berufen sich dabei auf Norlin et al. (1981). Die Entwicklung des Ganges dauere bis zum 16. Lebensjahr. Sutherland et al. (1980) berichten jedoch, dass die Gangkinetik ab 3,5-4 Jahren gleich zu der von Erwachsenen sei. Das Wachstum, das posttraumatisch bei Kindern Einfluss nimmt, kann eventuell gewisse Asymmetrien ausgleichen oder hervorrufen.

Die Vergleichbarkeit unter verschiedenen Altersgruppen ist deswegen ebenfalls eingeschränkt. So zeigt der pedographische Vergleich von 125 Kindern zwischen 6 und 10 Jahren mit Erwachsenen, dass bei den Schulkindern sich geringere Spitzendrücke unter allen anatomischen Strukturen finden (Hennig et al. (1994)). Mit zunehmenden Alter wird eine Medialisation im Vorfuß bei den älteren Kindern gefunden. Im Gegensatz zu den Erwachsenen wird das Körpergewicht als der Hauptfaktor in der Studie ausgemacht, der die Höhe des Druckes unter der Fußsohle der Schulkinder beeinflusst.

Bertsch et al. (2001): Die plantare Druckverteilung in Abhängigkeit von der Fußstellung „zeigte bei Dorsalflexion ein Anstieg von Kraft und Spitzendruck unter dem Mittel- und [medialem] Vorfuß. Posttraumatische Änderungen von Kontaktfläche oder Kraft werden als arthrosefördernde Mechanismen diskutiert“. Um Veränderungen besser erklären zu können, muss ferner das Sprunggelenk selbst

betrachtet werden: Von einer Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk, abhängig von der Schwere des Traumas, wird berichtet zum Beispiel von Losch et al. (2002). Letztendlich werden die Unterschiede bei den Probanden betrachtet. „Die kinematischen und dynamischen Eigenschaften eines physiologischen unauffälligen Fußes sind sehr individuell“ (Jacob et al. (1992)). Mittlmeier et al. (1990) finden bei 13 “normalen” Probanden bis auf den Maximaldruck eine Symmetrie der Standard-Parameter (Fußfläche, Kraft, Bodenkontaktzeit) von bis zu 5% heraus, wie in der Literatur beschrieben (Attinger (1987)). Jedoch zeigen sich bei den Impulswerten bei den Probanden Asymmetrien bis zu 8,5% im Seitenvergleich (TOTAL-Impuls, Impuls Ferse, Impuls Vorfuß). Im Zehen- und Mittelfußbereich finden sich sogar Werte bis 39%.

Zu bedenken ist, dass Asymmetrien in der Ganganalyse, wie bei den Probanden gefunden, nicht an klinische Beschwerden geknüpft sein müssen. Aufgrund der bestehenden Asymmetrie bei den Probanden ist die Interpretation interpersonell nur begrenzt möglich. Jedoch kann gut der intrapersonelle Vergleich herangezogen werden.

Schlussfolgerung:

Es kann gezeigt werden, dass in der Regel gute postoperative Ergebnisse vorliegen. Jedoch kann auch gezeigt werden, dass kein symmetrisches Gangbild nach operativ versorgten sprunggelenksnahen Unterschenkelfrakturen vorhanden ist. Die Daten werden aufgrund der geringen Fallzahl bei den Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis nur deskriptiv betrachtet, jedoch finden sich bei diesen Personen ausgeprägte Veränderungen im Gangmuster.

Es liegen bei den Probanden ebenfalls asymmetrische Gangbilder vor.

Die gefundenen Ergebnisse können bezüglich der möglicherweise frühzeitig entdeckten posttraumatischen Arthroseentwicklung als Fortschritt gesehen werden.

Die Kombination aus einem Clinical-Score (Fragebogen und klinischer Untersuchung) mit der dynamischen Pedographie kann Untersucher-unabhängig zusätzliche Informationen bei stattgehabter älterer Sprunggelenksverletzung liefern. Schlechte Verläufe können so frühzeitig erkannt und beeinflusst werden. Die dynamische Ganganalyse kann als günstige, leicht zu erlernende, nicht schmerzhaftes Zusatzuntersuchung objektiv klinisch nicht auffindbare oder vermutete Asymmetrien im Gang und in der Belastung aufzeigen. In Kombination mit Beschwerden kann so eine rechtzeitige gezielte Versorgung und Behandlung zum Beispiel mit Einlagen oder einer krankengymnastischen Therapie erfolgen, um den Leidensdruck des Patienten zu mindern und um einer möglichen prognostisch schlechten Beeinflussung der Asymmetrie entgegenzuwirken.

Die vergleichende klinische und pedographische Analyse des Fußes zwischen unverletzter und ehemals verletzter unterer Extremität scheint mit zusätzlichem interindividuellen Vergleich zu einem Normalkollektiv sinnvoll. Die Pedographie kann so zu einer Zusatz-Routineuntersuchung etabliert werden.

Hierzu sind jedoch weitere Langzeitstudien mit noch größeren Kollektiven sinnvoll, um die Lücke in der Literatur bezüglich den häufigen sprunggelenksnahen Verletzungen bei Kindern und der pedographischen Ergebnisse zu schließen.

5. Zusammenfassung

Einleitung: Sprunggelenksnahe Unterschenkelfrakturen zählen zu den häufigsten Verletzungen, die bei Kindern bisher kaum beziehungsweise pedographisch noch nicht ausführlich in der Literatur Bedeutung fanden. Bei operativer Versorgung zeigen sich bezüglich Patientenzufriedenheit, des funktionellen Ergebnisses und des radiologischen Befundes sehr gute Behandlungsergebnisse, jedoch können signifikante Gangbildveränderungen beobachtet werden. Die Ergebnisse aus dem Erwachsenenalter können aber nicht einfach in das Kindesalter übernommen werden. Nach einem Trauma am Bein stellen die klinische Untersuchung, Röntgen, Computertomographie bzw. Kernspinnuntersuchung den gebräuchlichen Weg dar. Diese sind jedoch nicht ausreichend um die Komplexität des Ganges zu beurteilen.

Fragestellung: Ziel dieser Untersuchung ist die vergleichende Analyse des Fußes sowohl intraindividuell zwischen unverletzter unterer Extremität und ehemals bei sprunggelenksnaher Unterschenkelfraktur im Kindes- und Jugendlichenalter osteosynthetisch versorgter Extremität, als auch interindividuell zu einem Normalkollektiv.

Material und Methoden: Retrospektiv wurden insgesamt 37 Patienten (Durchschnittsalter 17,6 Jahre bei Nachuntersuchung) mit operativ versorgten sprunggelenksnahen Frakturen bei einer Latenzzeit (Unfalltag bis Nachuntersuchung im Mittel) von 62 Monate mit Fragebogen, klinischer Untersuchung und mit der dynamischen Pedographie (EMED-SF-4, Firma Novel GmbH, München, Deutschland) nachuntersucht. Als Vergleichsgruppe wurden im gleichen Altersbereich (10 bis 24 Jahre) gesunde Probanden (N=46) akquiriert. Aufgrund der besonderen Verhältnisse bei Kindern, insbesondere des Wachstums, wurden drei Altersgruppen gebildet (10-13, 14-17 und 18-24 Jahre).

Ergebnisse: Alle befragten Personen sind mit der Therapie zufrieden, jedoch sind nur 25 Patienten schmerzfrei und 9 Leute können nicht dasselbe sportliche Level wie zuvor erreichen. Unter Verwendung eines Clinical Scores erreichen drei Patienten ein schlechtes klinisches Ergebnis (8%). Bei der komplexen Ganganalyse zeigen sich bei diesen drei Patienten Auffälligkeiten, bei allen anderen nicht. Bezüglich der Analyse der Fußfläche zeigt sich annähernd Symmetrie bis auf beide Patienten mit

schlechtem klinischen Ergebnis der ältesten Gruppe mit verkleinerter Fußfläche auf der verletzten Beinseite. Annähernd gleiche Kontaktzeiten weisen alle Patienten bis auf drei (zwei aus der schlechten Gruppe) mit einer stärkeren Verlängerung der Bodenkontaktzeit auf der unverletzten Seite auf.

Es finden sich **signifikante** verminderte Spitzenkraftwerte auf der verletzten Seite im Seitenvergleich bei den 14-17 jährigen, auf der unverletzten bei den 18-24 jährigen Patienten mit gutem klinischen Ergebnis. Die mittlere Patientengruppe zeigt jedoch eine **signifikante** Entlastung der medialen Ferse auf der verletzten Seite hinsichtlich des Spitzendruckes im Seitenvergleich. Erhebliche Veränderungen bezüglich des Maximaldruckes, Relativimpulses und speziell berechneten Verhältnis-Indizes (MLF, FFI, VFI) weisen aber alle drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis auf. Interessanterweise weisen die Probanden ebenfalls zum Teil **signifikante** Veränderungen auf.

Diskussion: Es kann aufgezeigt werden, dass die Patienten, wie die Vergleichsgruppe, asymmetrisch laufen, somit keine perfekte Symmetrie aufweisen. Jedoch muss man in ganz besonderem Maße beachten, dass die operativ versorgten Kinder sich zum Teil noch im Wachstum befinden und dieses je nach Zeitpunkt des Traumas Einfluss nehmen kann. Ferner ist zu bedenken, dass Asymmetrien in der Ganganalyse, wie bei den Probanden gefunden, nicht an klinische Beschwerden geknüpft sein müssen. Die drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis weisen jedoch erhebliche asymmetrische Gangmuster auf.

Schlussfolgerung: Die Kombination aus einem Clinical-Score mit der kostengünstigen, nicht schmerzhaften dynamischen Pedographie kann Untersucherunabhängig zusätzliche Informationen bei stattgehabter älterer Sprunggelenksverletzung liefern. Schlechte Verläufe können so frühzeitig erkannt und beeinflusst werden. Die gefundenen Ergebnisse können bezüglich der dadurch frühzeitig entdeckten posttraumatischen Arthroseentwicklung als Fortschritt gesehen werden. Die vergleichende klinische und pedographische Analyse des Fußes zwischen unverletzter und ehemals verletzter unterer Extremität scheint mit zusätzlichem interindividuellen Vergleich zu einem Normalkollektiv auch in der Routineuntersuchung sinnvoll.

6. Schrifttumsverzeichnis

Ahl T, Dalén N, Selvik G: Ankle fractures. A clinical and roentgenographic stereophotogrammetric study. Clin Orthop Relat Res **1989**; 245:246-255

Andrews M, Noyes FR, Hewett TE, Andriacchi TP: Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: A critical analysis of the reliability of gait analysis data. J Orthop Res **1996**; 14:289-295

Attinger D: Subjektive Gangbeobachtung im Vergleich zu gemessener Asymmetrie. Swiss Med **1987**; 9:58-61

Bauer G, Zenkl M, Schierle M, Rosenbaum D, Mutschler W, Claes L: Störungen der Gangfunktion nach Metatarsale-5-Basisfrakturen. Unfallchirurg **1993**; 96:483-487

Bauer M, Bergström B, Hemborg A, Sandegård J: Malleolar fractures: Nonoperative versus operative treatment. A controlled study. Clin Orthop Relat Res **1985**; 199:17-27

Baumann W, Müller N, Brust G: Grundlegende Begriffe und Anwendungsaspekte der elektronischen Druckverteilungsmessung am Fuß. Med Orth Tech **1994**; 114:6-13

Becker HP, Rosenbaum D, Claes L, Gerngroß H: Dynamische Pedographie zur Abklärung der funktionellen Sprunggelenkinstabilität. Unfallchirurg **1997**; 100:133-139

Becker HP, Rosenbaum D, Kriese T, Gerngroß H, Claes L: Gait asymmetry following successful surgical treatment of ankle fractures in young adults. Clin Orthop Relat Res **1995**; 311:262-269

Bengné V, Ekblom T, Johnell O, Nilsson BE: Incidence of femoral and tibia shaft fractures. Epidemiology 1950-1983 in Malmö, Sweden. Acta Orthop Scand **1990**; 61: 251-254

Bertsch C, Rosenbaum D, Claes L: Intraartikuläre und plantare Druckverteilung des Sprunggelenkkomplexes in Abhängigkeit von der Fußstellung. Unfallchirurg **2001**; 104:426-433

Bray TJ, Endicott M, Capra SE: Treatment of open ankle fractures. Immediate internal fixation versus closed immobilization and delayed fixation. Clin Orthop Relat Res **1989**; 240:47-52

Burns J, Crosbie J, Hunt A, Ouvrier R: The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure. Novel Award 2004 – Clinical Applied Research. Clin Biomech **2005**; 20:877-882

Bus SA, de Lange A: A comparison of the 1-step, 2-step and 3-step protocols for obtaining barefoot plantar pressure data in the diabetic neuropathic foot. Clin Biomech **2005**; 20:892-899

Cavanagh PR, Rodgers MM, Iiboshi A: Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. Foot Ankle **1987**; 7:262-276

Cavanagh PR, Sims DS Jr, Sanders LJ: Body mass is a poor predictor of peak plantar pressure in diabetic men. *Diabetes Care* **1991**; 14:750-755

Cimino W, Ichtertz D, Slabaugh P: Early mobilization of ankle fractures after open reduction and internal fixation. *Clin Orthop Relat Res* **1991**; 267:152-156

Clarke TE: The pressure distribution under the foot during barefoot walking. *Medizinische Dissertation, Universität des Staates Pennsylvania*, **1980**

Cullen MC, Roy DR, Crawford AH, Assenmacher J, Levy MS, Wen D: Open fractures of the tibia in children. *J Bone Joint Surg Am* **1996**; 78:1039-1047

Cummings RJ: Distal tibial and fibular fractures. In: Beaty JH, Kasser JA (eds) *Rockwood and Wilkins's fractures in children*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia **2001** pp 1122-1167

De Souza LJ, Gustilo RB, Meyer TJ: Results of operative treatment of displaced external rotation-abduction fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Am* **1985**; 67: 1066-1074

Debrunner AM: *Orthopädie: die Störungen des Bewegungsapparates in Klinik und Praxis*. Nachdruck der 2., durchgesehenen und ergänzten Auflage: Bern; Stuttgart; Toronto: Huber, **1988**

Denoth J: Analyse von Belastung und Beanspruchung des Bewegungsapparats. *Swiss Med* **1987**; 9:35-41

Drerup B, Beckmann C, Wetz HH: Der Einfluss des Körpergewichts auf den plantaren Spitzendruck beim Diabetiker. Untersuchungen mit simulierter Gewichtsveränderung. *Orthopäde* **2003**; 32:199-206

Drerup B, Hafkemeyer U, Möller M, Wetz HH: Der Einfluss der Geschwindigkeit beim Gehen auf die Druckverteilung bei orthopädienschuh-technischer Versorgung. *Orthopäde* **2001**; 30:169-175

Drerup B, Tilkorn D, Wetz HH: Der Einfluss von getragener Last und Tragetechnik auf den plantaren Spitzendruck. *Orthopäde* **2003**; 32:207-212

Feldkamp G, Häusler U, Daum R: Verlaufsbeobachtungen kindlicher Unterschenkelchaftbrüche. *Unfallheilkunde* **1977**; 80:139-146

Fragen TM, Arens S, Muhr G, Kälicke T: Frakturen des Unterschenkels im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh* **2005**; 7:37-41

Fritsch C, Haslbeck M: Diagnostik und Therapie des diabetischen Fußsyndroms - Was leistet die Pedographie ? *MMW-Fortschr Med* **2004**; 146:51-54

Ganley KJ, Powers CM: Gait kinematics and kinetics of 7-year-old children: a comparison to adults using age-specific anthropometric data. *Gait Posture* **2005**; 21:141-145

Grieve DW, Gear RJ: The Relationships between length of stride, step frequency, time of swing and speed of walking for children and adults. *Ergonomics* **1966**; 9:379-399

Harris GF, Wertsch JJ: Procedures for gait analysis. *Arch Phys Med Rehabil* **1994**; 75:216-225

Hellsing AL: Leg length inequality. A prospective study of young men during their military service. *Ups J Med Sci* **1988**; 93:245-253

Hennig EM: Pressure distribution under the foot during expected and unexpected falls. *Medizinische Disseratation, Universität des Staates Pennsylvania*, **1984**

Hennig EM, Milani T: Die Dreipunktunterstützung des Fußes. Eine Druckverteilungsanalyse bei statischer und dynamischer Belastung. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* **1993**; 131:279-284

Hennig EM, Staats A, Rosenbaum D: Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle* **1991**; 11:306-311

Hennig EM, Rosenbaum D: Plantar pressure distribution patterns of young school children in comparison to adults. *Foot Ankle Int* **1994**; 15:35-40

Herzog W, Nigg BM, Read LJ, Olsson E: Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sports Exerc* **1989**; 21:110-114

Hills AP, Hennig EM, McDonald M, Bar-Or O: Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord* **2001**; 25:1674-1679

Hong Y, Li JX: Influence of load and carrying methods on gait phase and ground reactions in children's stair walking. *Gait Posture* **2005**; 22:63-68

Hughes J: The clinical use of pedobarography. *Acta Orthop Belg* **1993**; 59:10-16

Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L: Reliability of pressure measurements: the EMED F system. *Clin Biomech* **1991**; 6:14-18

Jacob HA, Zollinger H: Zur Biomechanik des Fußes – Kräfte beim Gehen im Vorfuß und ihre klinische Relevanz. *Orthopäde* **1992**; 21:75-80

Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME, Gainey J, Gorton G, Cochran GV: Repeatability of kinematic, kinetic and electromyographic data in normal adult gait. *J Orthop Res* **1989**; 7:849-603

Kadaba MP, Wootten ME, Gainey J, Cochran GV: Repeatability of phasic muscle activity : Performance of surface and intramuscular wire electrodes in gait analysis. *J Orthop Res* **1985**; 3:350-359

Konisek G: Zur supramedullären Schienbein- und Unterschenkelfraktur bei Kindern und Jugendlichen. Unfallheilkunde **1983**; 80:369-378

Kraus R, Schneidmüller D, Röder C: Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. Dtsch Arztebl **2005**; 102:A 838-842

Kubat R, Mrzena V: Spontane Achskorrekturen nach Unterschenkelfrakturen im Kindesalter. Z Orthop Ihre Grenzgeb **1977**; 115:595-602

Lindsjö U: Classification of ankle fractures: the Lauge-Hansen or AO system? Clin Orthop Relat Res **1985**; 199:12-16

Lindsjö U: Operative treatment of ankle fracture-dislocations: A follow-up study of 306 / 321 consecutive cases. Clin Orthop Relat Res **1985**; 199:28-38

Losch A, Meybohm P, Schmalz T, Fuchs M, Vamvakakis F, Dresing K, Blumentritt S, Stürmer KM: Funktionelle Ergebnisse bei Freizeitsportlern in der dynamischen Ganganalyse 1 Jahr nach operativ versorgten Sprunggelenkfrakturen. Sportverl Sportschad **2002**; 16:101-107

Lüthi S: Die quantitative Beurteilung des menschlichen Ganges. Swiss Med **1987**; 9:31-34

Maluf KS, Mueller MJ: Comparison of physical activity and cumulative plantar tissue stress among subjects with and without diabetes mellitus and a history of recurrent plantar ulcers. Novel Award 2002 Paper. Clin Biomech **2003**; 18:567-575

Mann RA, Hagy JL, White V, Liddell D: The initiation of gait. J Bone Joint Surg Am **1979**; 61:232-239

Margotti D, Bochdansky Th, Morlock M, Zwick EB, Resch KL: Pedographic evaluation of diurnal variations in different professions. 3. EMED User Meeting, Flagstaff, **1992**

Mazur JM, Schwartz E, Simon SR: Ankle arthrodesis. Long-term follow-up with gait analysis. J Bone Joint Surg Am **1979**; 61:964-975

McPoil TG, Cornwall MW, Dupuis L, Cornwell M: Variability of plantar pressure data. A comparison of the two-step and midgait methods. J Am Podiatr Med Assoc **1999**; 89:495-501

Meisinger C, Wildner M, Stieber J, Heier M, Sangha O, Döring A: Epidemiologie der Extremitätenfrakturen. Orthopäde **2002**; 31:92-99

Menkveld SR, Knipstein EA, Quinn JR: Analysis of gait patterns in normal school-aged children. J Pediatr Orthop **1988**; 8:263-267

Mittlmeier T: Funktionsstörungen des Fußes nach Verletzungen – diagnostische Möglichkeiten. Krankengymnastik **1995**; 47:1410-1424

Mittlmeier T, Fässler M, Lob G, Mutschler W, Bauer G: Analysis of gait asymmetry in normals by dynamic pedography. 7th Meeting of the European Society of Biomechanics, July 8-11, Aarhus, Denmark, **1990**

Mittlmeier T, Morlock MM: Statische und dynamische Belastungsmessungen am posttraumatischen Fuß. Orthopäde **1991**; 20:22-32

Mittlmeier T, Morlock MM, Hertlein H, Fassler M, Mutschler W, Bauer G, Lob G: Analysis of morphology and gait function following intraarticular calcaneal fracture. J Orthop Trauma **1993**; 7:303-310

Mittlmeier T, Morlock MM, Kollmitzer J, Bochdansky T, Zwick E, Margotti D, Siegmeth A, Petje G: Evaluation of lower limb function after trauma. A methodological approach employing 4 gait analysis techniques. Biomech Sem **1994**; 8:38-50

Mittlmeier T, Rosenbaum D: Klinische Ganganalyse. Unfallchirurg **2005**; 108:614-629

Miller CA, Verstraete MC: Determination of the step duration of gait initiation using a mechanical energy analysis. J Biomech **1996**; 29:1195-1199

Mont MA, Sedlin ED, Weiner LS, Miller AR: Postoperative radiographs as predictors of clinical outcome in unstable ankle fractures. J Orthop Trauma **1992**; 6:352-357

Müller ME, Nazarian S, Koch P: Classification AO des Fractures, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1987, Deutsche Ausgabe. Deutsch 3. **1989**

Murphy DF, Beynon BD, Michelson JD, Vacek PM: Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure. Foot Ankle Int **2005**; 26:171-179

Murray MP, Mollinger F, Gardner GM, Sepic SP: Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. J Phys Med **1966**; 45:8-23

Neugebauer W, Schweizer P, Gradel S, Walter E: Epiphysenfugenläsionen, Klassifikationen – Therapie – Prognose. Z Kinderchir **1981**; 33:153-166

Norlin R, Odenrick P, Sandlund B: Development of gait in the normal child. J Pediatr Orthop **1981**; 1:261-266

Ochs U, Winter E, Weise K: Malleolenfrakturen. Trauma Berufskrankh **2001**; 3:338-343

Olerud C, Molander H: Bi- and trimalleolar ankle fractures operated with nonrigid internal fixation. Clin Orthop Relat Res **1986**; 206:253-260

Perttunen JR, Anttila E, Södergård J, Merikanto J, Komi PV: Gait asymmetry in patients with limb length discrepancy. Scand J Med Sci Sports **2004**; 14:49-56

Pettrone FA, Gail M, Pee D, Fitzpatrick T, Van Herpe LB: Quantitative criteria for prediction of the results after displaced fracture of the ankle. *J Bone Joint Surg Am* **1983**; 65:667-677

Phillips WA, Schwartz HS, Keller CS, Woodward HR, Rudd WS, Spiegel PG, Laros GS: A prospective, randomized study of the management of severe ankle fractures. *J Bone Joint Surg Am* **1985**; 67:67-78

Pierrynowski MR, Galea V: Enhancing the ability of gait analyses to differentiate between groups: scaling gait data to body size. *Gait Posture* **2001**; 13:193-201

Roberts RS: Surgical treatment of displaced ankle fractures. *Clin Orthop Relat Res* **1983**; 172:164-170

Robinson RO, Herzog W, Nigg BM: Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther* **1987**; 10:172-176

Rosenbaum D, Becker HP: Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot Ankle Surgery* **1997**; 3:1-14

Rosenbaum D, Lübke B, Bauer G, Claes L: Influence of hindfoot deformities after intra-articular calcaneal fractures on dynamic plantar pressure patterns. *Proceedings XIV Congress of the International Society of Biomechanics, Paris, 1993*; pp 1144-1145

Schaff P: Die durchschnittliche Druckbelastung in den verschiedenen Bereichen der Fußsohle des Diabetikers. *Med Orth Tech* **1994**; 114:30-37

Schaff P, Kirsch D, Frey S, Mehnert H: Dynamische Druckverteilungsmessungen unter der Fußsohle. Standardisierung der Pedographie. *Akt Endokr Stoffw* **1987**; 8:127-131

Schmidt R, Meyer-Wölbelt B, Röderer M, Becker HP, Benesch S, Fels T, Gerngroß H: Dynamische Ganganalyse. Mittel zur Qualitätssicherung nach operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen. *Unfallchirurg* **1999**; 102:110-114

Schröter E: Die Pedographie als Instrument zur Evaluierung der Gangstörungen nach Frakturen von Femur, Tibia oder Fibula bei Kindern. *Medizinische Doktorarbeit 2000*, Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Seebeck P, Thompson MS, Parwani A, Taylor WR, Schell H, Duda GN: Gait evaluation: A tool to monitor bone healing? *Novel Award 2004 – Basic Research. Clin Biomech* **2005**; 20:883-891

Segal A, Rohr E, Orendurff M, Shofer J, O'Brien M, Sangeorzan B: The effect of walking speed on peak plantar pressure. *Foot Ankle Int* **2004**; 25:926-933

Shih LY, Wu JJ, Lo WH: Changes in gait and maximum ankle torque in patients with ankle arthritis. *Foot Ankle* **1993**; 14:97-103

Shimada S, Kobayashi S, Wada M, Sasaki S, Kawahara H, Vehida K, Yayama T, Baba H: Effect of compensation procedures for velocity on repeatability and variability of gait parameters in normal subjects. *Clin Rehabil* **2006**; 20:239-245

Stüssi E, Debrunner HU: Parameter-Analyse des menschlichen Ganges. *Biomed Tech* **1980**; 25:222-224

Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, Woo SL: The development of mature gait. *J Bone Joint Surg Am* **1980**; 62:336-353

Svensson OK, Weidenhielm L: Variability of knee moment arms in the frontal and sagittal planes during normal gait. *Clin Biomech* **1993**; 8:59-65

Unger H, Rosenbaum D: Gender-specific differences of the foot during the first year of walking. *Foot Ankle Int* **2004**; 25:582-587

Von Laer LR: Spezieller Teil – Untere Extremitäten. In: von Laer LR (Hrsg) *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. Thieme, Stuttgart New York **2003** pp 327-376

Wearing SC, Urry S, Smeathers JE, Battistutta D: A comparison of gait initiation and termination methods for obtaining foot pressures. *Gait Posture* **1999**; 10:255-263

7. Anhang

7.1. Verzeichnis der Abkürzungen

| | |
|----------------|-------------------------------------|
| bds. | Beidseitig |
| BMI | Body-Mass-Index |
| bzw. | Beziehungsweise |
| c / C | Centi / Celcius |
| Ext | Extension |
| FFI | Vorfußindex |
| FK / FL | Ferse komplett / lateral |
| Flex | Flexion |
| FM / FZ | Ferse medial / zentral |
| GM | Gewölbemitte = laterales Fußgewölbe |
| H / h | Hallux / Stunde |
| Hz | Hertz |
| J. | Jahre |
| k | Kilo |
| KG | Körpergewicht |
| Klin. | Klinisch |
| m | Milli bzw. Meter |
| M1 / M2/3 / M5 | Metatarsalköpfchen 1 / 2/3 / 5 |
| MLF | Mediolateraler Belastungsfaktor |
| N / N= | Newton / Anzahl |
| Nr. | Nummer |
| n.s. | Nicht signifikant |
| OSG | Obere Sprunggelenk |
| Pat. | Patient |
| Prob. | Proband |
| RI | Relativimpuls(e) |
| Roi | Region(s) of Interest |
| s | Sekunde |
| SD | Standardabweichung |
| SI | Symmetrie-Index |
| VFI | Vorfuß-Fersen-Index |
| z.B. | Zum Beispiel |

7.2. Fragebogen

Seite 1

Nachuntersuchung
Doktorarbeit

Name: _____ Untersuchungsdatum: _____
Vorname: _____ Uhrzeit: _____
geboren am: _____ besondere Ereignisse: _____

Allgemeine Anamnese

Größe: _____ cm Gewicht: _____ kg

1.) Unfallhergang/Unfallort (falls nicht aus Patientenübersicht ersichtlich): _____

2.) Therapie "am Unfallsort" (Eisgekühlt,Ruhigstellung;etc.): _____

3.) Wie lange dauerte es, bist Du in der Klinik warst / therapiert wurdest ? _____ / _____

4.) Warst Du mit der Therapie zufrieden ?(bei nein =>warum nicht?) _____

5.) Betreibst Du Sport oder "andere" Aktivitäten ? _____

6.) Welche Sportart(en) und wieviel Stunden á Woche ? _____

7.) Wie ist die Belastbarkeit des SG/Fußes im Vergleich zum anderen Fuß ? _____

8.) Hast Du: * Gelenkblockierungen (keine/gelegentlich/häufig/jetzt gerade) (Wo, bei welcher Tätigkeit)

* Instabilitätsgefühl(e) (Welcher Art => mechan. Instabilität => Giving-way)(Wo)

* Schmerzen (Wo, bei welcher Tätigkeit, wann, Schmerzausstrahlung)

* Kräfteeinschränkungen (z.B. beim Sprung)(Wo, welches Bein, wann, in welcher Art)

9.) Hast Du früher (vor dem Unfall) andere Sportarten/Aktivitäten betrieben? (Welche, warum aufgehört)

10.) Mußtest Du wegen der Verletzung eine Sportart aufgeben ? Welche ? Wann ? Warum?

11.) Hast Du dasselbe sportliche Level nach dem Unfall erreicht wie zuvor? (bei nein =>warum nicht?)

12.) Was war/ist Deine Beschäftigung/Job damals, seitdem und heute? (seit wann, Zusammenhang mit dem Unfall)

13.) Gab es in Deinem Leben wegen der Verletzung irgendwelche Ver-/Änderungen oder konntest Du (mit Ausnahme der "Therapiezeit") wie vor der Verletzung fortfahren ? (welche,warum)

14.) Hattest Du andere WS/Bein/Fuß/SG-Frakturen vor/seit damals ? (wo,re/li,wann, Therapie)

Name: _____ Untersuchungsdatum: _____
 Vorname: _____ Uhrzeit: _____
 geboren am: _____ besondere Ereignisse: _____

Allgemeine Anamnese

15.) Hattest Du öfters Prellungen, Zerrungen oder Verrenkungen (Luxationen) des Beines/Fußes ?
 (wo, re/li, wie oft ca., wann)

16.) Wie sieht es mit Wirbelsäulenschäden, Hüftprobleme, Knieschäden (z.B. Meniskusläsionen, Bandläsionen), Knieprobleme aus ? (Wann, wo, welcher Art, wodurch, Therapie)

17.) Hast Du Schmerzen im Bein/Knie/SG/Fuß beim Treppensteigen/Aufstehen von einem Stuhl/bei Bewegungen ? (wo, re/li, bei welcher Tätigkeit, wie lange, seit wann, Therapie, Verlauf)

18.) Fragen zur WS: Schmerzhaftigkeit, Beweglichkeit, Muskelverspannungen vor/seitdem Unfall ?
 (ab wann, bei welcher Tätigkeit, wie lange, wo,...)

19.) Fragen zum Nervensystem: Koordination generell ? Ist das Koordinationsgefühl re/li schlechter seit der Verletzung ? (wo, warum, wie äußert sich das)

20.) Hast Du irgendwelche Hautveränderungen (Ulzera,...) seitdem ? (wo)

21.) Bist Du Re- oder Linkshänder ?

22.) Mit welchem Bein bist Du geschickter ? Rechts oder links ? (z.B. beim Fußballspielen bzw. schlechteres Bein als Sprungbein)

23.) Welche Schuhe trägst Du im "Job"/Schule, in der Freizeit, zu Hause?

24.) Hast Du irgendwann einmal orthopädische Einlagen gehabt? (warum, wann, wo (re/li))

25.) Trägst Du Orthesen/Tapes/Sportbandagen ? (beim Sport/in der Freizeit/etc.) (wann, wo, warum)

26.) Frühere Operationen an WS/Bein/Knie/SG/Fuß: (wann, warum)

27.) Hatte einer aus Deiner Familie schon SG- oder andere Beinverletzungen gehabt ? (wer, wann, wo, re/li)

28.) Leidest Du an Diabetes mell., Rheumatoiden Arthritis, sonstigem ? (seit wann, Therapie)

29.) sonstiges / Besonderheiten:

Abbildung 6 Fragebogen

7.3. klinischer Untersuchungsbogen

Seite 1

**Nachuntersuchung
Doktorarbeit**

Name: _____ Untersuchungsdatum: _____
 Vorname: _____ Uhrzeit: _____
 geboren am: _____ besondere Ereignisse: _____

| rechts | Klinische Untersuchung | links |
|----------------------------|---|-------|
| Inspektion | | |
| 0 1 | - Ödeme (Wo, Ausdehnung, Tagesverlauf) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Pigmentanomalien (Wo, Ausdehnung, Form, Farbe) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Narben (Wo, reizlos, Länge, Schnitt in welche Richtung, Form) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Rötungen (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Temperaturunterschiede (Wo) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Entzündungen (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Ulcera (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - chron. venöse Insuff. (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Konturverlust (ein-/beidseitig, Wo) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Verletzungen (Wo, Ausdehnung, Form, welcher Art) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - sek. Verletzungen durch fehlende Statik (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Hautatrophie (Wo, Ausdehnung, Form, welcher Art) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Muskelatrophien (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Asymmetrie (Wo, Aussehen) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Muskelkontrakturen (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Gelenkserguß (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Varizen (Wo, Ausdehnung) _____ | 0 1 |
| | - sonstiges: _____ | |
| Haltung, Deformität | | |
| | - der Wirbelsäule: | |
| 0 1 | * Skoliose (Wo, Form, Ausprägung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | * verstärkte Lendenlordose _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Beinachsendeformität: | 0 1 |
| 0 1 | * Beinachse pathologisch (ca. 7° valgus=normal, Erwachsener) | 0 1 |
| 0 1 | * varus _____ | 0 1 |
| 0 1 | * valgus _____ | 0 1 |
| 0 1 | * recurvatum _____ | 0 1 |
| 0 1 | * andere: _____ | 0 1 |

Legende: 0=normal, nicht pathologisch; 1= pathologisch
 0=nein; 1=ja

| rechts | | links |
|----------|---|----------|
| | - Fuß: | |
| 0 1 | * Pes planus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes excavatus=cavus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes transversus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes valgus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes planovalgus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes varus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes equinus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes equinovarus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes calcaneus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes abductus | 0 1 |
| 0 1 | * Pes adductus | 0 1 |
| 0 1 | - Form des Fußgewölbes _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Hallux valgus _____ | 0 1 |
| 0 1 | - andere / sonstige: _____ | 0 1 |
| | Kompartimente | |
| | OS/Knie: | |
| 0 1 | - Ausrichtung und Kontur _____ | 0 1 |
| 0 1 | - physiolog. Vertiefungen um Patella _____ | 0 1 |
| | US: | |
| 0 1 | - Ausrichtung und Kontur _____ | 0 1 |
| | Fuß: (Stärke, Aussehen) | |
| 0 1 | - Beschwielung der Ferse _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Beschwielung des lat. Fußrandes _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Beschwielung des 1. Mittelfußköpfchens _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Beschwielung des 5. Mittelfußköpfchens _____ | 0 1 |
| | Beinlänge (Spina iliaca ant. sup. bis Spitze Mall. lat.) | |
| _____ cm | 1.) rechnerisch | _____ cm |
| _____ cm | 2.) funktionell | _____ cm |
| | Beinumfang: | |
| _____ cm | - 20 cm (oberhalb des inneren Kniegelenksspaltes) | _____ cm |
| _____ cm | - 10 cm (unterhalb des inneren Kniegelenksspaltes) | _____ cm |
| _____ cm | - Patella-Mitte | _____ cm |
| _____ cm | - US (kleinster Umfang) | _____ cm |
| _____ cm | - Knöchel | _____ cm |
| | sonstiges: _____ | |
| | Palpation | |
| | LWS: | |
| 0 1 | - Ausrichtung _____ | 0 1 |

| rechts | | links |
|---|---|--------------|
| | OS/Knie: | |
| 0 1 | - oberfl. Orientierungspunkte (med. Femurkondylus, oberer Rand des med. Tibiaplateaus, Tuberositas tibiae, Tuberculum adductorium; lat. Femurkondylus, lat. Tibiaplateau, med. et lat. Femurepikondylus, Patella) | 0 1 |
| 0 1 | - inguinale Lymphknoten | 0 1 |
| 0 1 | - Druckschmerzhaftigkeit der Bänder, Menisken, Bursae (Wo, Ausdehnung) | 0 1 |
| 0 1 | - Patellarsehne im patellofemorale Kompartiment | 0 1 |
| | US: | |
| 0 1 | - Muskeln | 0 1 |
| 0 1 | - Thompson-Test | 0 1 |
| | SG: | |
| 0 1 | - med. et lat. Malleolus | 0 1 |
| 0 1 | - retromalleoläre Strukturen medial (M. tibialis post., M. flexor digitorum longus, N. tibialis, M. flexor hallucis longus) | 0 1 |
| (0+/+/+/+++) | - A. tibialis post. | (0+/+/+/+++) |
| | Fuß: | |
| 0 1 | - MP-Gelenke I | 0 1 |
| 0 1 | - (von med. nach lat.:) M. tibialis ant., M. extensor hallucis longus-, M. extensor digitorum longus-Sehne | 0 1 |
| (0+/+/+/+++) | - A. dorsalis pedis | (0+/+/+/+++) |
| 0 1 | - Achillessehne <i>(pathologische Befunde bitte unterstreichen und beschreiben)</i> | 0 1 |
| Funktionsprüfung der Gelenke - Neutral-0°-Methode: | | |
| | Knie: | |
| 0 1 | - Flexion/Extension (120-150°/0°/5-10°) | 0 1 |
| | Sprunggelenk: | |
| | passive Beweglichkeit: | |
| 0 1 | - Plantarflexion/Dorsalextension (40-50°/0°/20-30°) | 0 1 |
| 0 1 | - Ab-/Adduktion (15°/0°/25°) (nur Calcaneus wird bewegt, nur dieser gemessen!) | 0 1 |
| 0 1 | - Pronation/Supination (15°/0°/35°) (bei fixiertem Calcaneus) | 0 1 |
| 0 1 | - Eversion/Inversion (30°/0°/60°) (gesamt) | 0 1 |
| | aktive Beweglichkeit: | |
| 0 1 | - Plantarflexion/Dorsalextension | 0 1 |
| 0 1 | - Eversion/Inversion (gesamt) | 0 1 |
| | sonstiges: | |
| 0 1 | - Crepitatio (Wo: re/li, med./lat.) | 0 1 |
| 0 1 | - Bewegungsschmerz (Wo) | 0 1 |
| 0 1 | - sonstiges | 0 1 |

| rechts | Prüfung der Gelenkstabilität | links |
|--|--|-------|
| 0 1 | Fuß: - Wackelbewegungen bzw. Schlottergelenk | 0 1 |
| 0 1 | - Beurteilung des OSG: | 0 1 |
| 0 1 | * Talusvorschub _____ | 0 1 |
| 0 1 | * Verschieblichkeit der Syndesmose _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Beurteilung des "USG": | 0 1 |
| 0 1 | + Varusstreß (Aufklappbarkeit des SG) _____ | 0 1 |
| 0 1 | sonstiges: | 0 1 |
| 0 1 | - Schmerzen während der Untersuchung (Wo, _____ bei welcher Untersuchung) | 0 1 |
| 0 1 | - sonstiges _____ | 0 1 |
| Komplexe Funktionsprüfung - klinische Ganganalyse (mit Neuro+Kraft) | | |
| 0 1 | - Einbeinstand (Trendelenburg-Zeichen) | 0 1 |
| 0 1 | - Verlagerung des Beckens (physiolog.) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Flexion des Knies (außer beim Aufsetzen des _____ Calcaneus) | 0 1 |
| 0 1 | - flüssiger, kontinuierlicher Rhythmus _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Hinken: | 0 1 |
| 0 1 | * Trendelenburg-Hinken _____ | 0 1 |
| 0 1 | * Verkürzungshinken (Beinlängendifferenz) _____ | 0 1 |
| 0 1 | * Schonhinken (Schmerzen) _____ | 0 1 |
| 0 1 | * Versteifungskinken (Ankylose) _____ | 0 1 |
| 0 1 | * Steppergang (N. peroneus) _____ | 0 1 |
| 0 1 | * Watschelgang und Hüfthinken (Hüftgelenkdysplasie) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Zehenspitzen Gang _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Fersengang _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Einbeinsprung (re+li) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Nackengriff (tiefe Hockstellung) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Entengang-Test _____ | 0 1 |
| 0 1 | - sonstiges: _____ | 0 1 |
| Muskeln und Sehnen und Gelenke | | |
| 0 1 | Auffälligkeiten: | 0 1 |
| 0 1 | - Schmerzangaben (Wo, welcher Art, _____ bei welcher Untersuchung) | 0 1 |
| 0 1 | - Crepitatio (Sehne) (Wo) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - Gelenkcrepitation (Wo) _____ | 0 1 |
| 0 1 | - sonstiges: _____ | 0 1 |
| Beweglichkeit | | |
| 0 1 | - restl. Überprüfen der groben _____ Kraft des OSG/USG, Zehen | 0 1 |
| 0 1 | (Zehenstand in sec.) _____ re. li. | 0 1 |
| 0 1 | - sonstiges: _____ | 0 1 |

7.4. Clinical Score

Clinical Score:

1.) Objektiv (24 Punkte):

- Gangbild (6 Punkte):
 - Hinken (0)
 - kein flüssiger, kontinuierlicher Rhythmus (3)
 - unauffälliges Gangbild (6)
- Bewegungsausmaß (Unterschied zur gesunden Seite) (14 Punkte):
 - Dorsalextension (passiv):
 - $> 20^\circ$ (0)
 - $10-20^\circ$ (2)
 - $< 10^\circ$ (4)
 - kein Unterschied (7)
 - Plantarflexion (passiv):
 - $> 20^\circ$ (0)
 - $< 20^\circ$ (2)
 - kein Unterschied (3)
 - Inversion (passiv):
 - $> 5^\circ$ (0)
 - kein Unterschied (2)
 - Eversion (passiv):
 - $> 5^\circ$ (0)
 - kein Unterschied (2)
- Überprüfen der groben Kraft (4 Punkte):
 - 0 – 30 sec (0)
 - 31 – 59 sec (2)
 - ab 60 sec (4)

2.) Subjektiv (76 Punkte):

- Schmerz (50 Punkte):
 - Immer / teilweise auch in Ruhe (0)
 - Nach leichter Belastung (20)
 - Nach schwerer Belastung (40)
 - Kein Schmerz (50)
- Funktion (26 Punkte):
 - Treppensteigen:
 - nicht möglich (0)
 - schmerzhaft eingeschränkt (2)
 - problemlos möglich (4)
 - Gehen:
 - kurzer Strecken (bis 100 Meter) unmöglich (0)
 - schmerzhaft eingeschränkt nach kurzen Strecken (2)
 - schmerzhaft eingeschränkt nach langen Strecken / beim längeren Laufen / Joggen (5)
 - keine Einschränkung (6)
 - Freizeitaktivitäten:
 - limitiert (0)
 - keine Einschränkung (3)
 - Zufriedenheit (der Therapie):
 - unzufrieden (0)
 - teilweise zufrieden (2)
 - zufrieden (3)
 - Gelenkblockierungen:
 - vorhanden (0)
 - nicht vorhanden (1)
 - Instabilitätsgefühle:
 - vorhanden (0)
 - nicht vorhanden (1)
 - Krafteinschränkungen:
 - vorhanden (0)
 - nicht vorhanden (1)

- Tragen von stabilisierenden Hilfsmitteln:
 - orthopädische Schuhe / ständiges Tragen von Bandagen / Tapes (0)
 - Tapes / Sportbandagen bei stärkerer Belastungen (z.B. beim Sport) (4)
 - keine Hilfsmittel (7)

Abbildung 5 Clinical Score

7.5. Patienten: Fallvorstellung ausgewählter Patienten

Eine Vorstellung der drei Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis findet sich hier.

Patient Nr. 31 (Altersgruppe 14-17 Jahre):

Die Patientin ist am 15.10.1985 geboren. Die stationäre Aufnahme erfolgte am 05.03.1999 um 9:15 Uhr, nachdem die Patientin in der Turnhalle in der Schule umgeknickt war (Supinationstrauma). Sie sei über eine Matte gestolpert. Über den Rettungsdienst ohne Notarzt kam die Patientin geschient in die Notaufnahme. Hier zeigten sich massive Schmerzen und eine Schwellung des linken Sprunggelenkes. Röntgenologisch stellte sich eine komplette Mehrfragmentfraktur des distalen Unterschenkels links mit Gelenkbeteiligung und Dislokation dar (Abbildung 8). Die operative Versorgung erfolgte am 05.03.1999 um 15:35 bis 21:05 Uhr mit Zuggurtung Malleolus medialis, Schraubenosteosynthese Tibia (Volkman-Dreieck), Kirschner-Drahtosteosynthese Tibia (laterale Epiphyse) und Drittelrohr-Plattenosteosynthese und Cerclage der Fibula (Abbildungen 9 und 10). Eine postoperativ aufgetretene massive Schwellung des linken Unterschenkels wurde zunächst mit Hochlagern in einer dorsalen Gipsschiene, sowie mit Kühlung therapiert. Durch die Dislokation des OSG traten in der Folge zwei Weichteildefekte von circa 4x4 cm Größe am Fußrücken und über dem Malleolus lateralis auf. Nach der ersten Woche wurde mit der Mobilisation begonnen. Die Patientin wurde am 20. postoperativen Tag an Unterarmgehstützen unter Entlastung des linken Beines mobil entlassen.

Als Nebendiagnosen sind vermerkt: Zustand nach Hüftdysplasie beidseitig, anlagebedingter Knick- und Senkfuß beidseits.

Das Osteosynthesematerial wurde stationär entfernt, Aufenthalt vom 28.12. bis 31.12.99 mit Arthroskopie des linken OSG mit Knorpelglättung.

Es wurden zwei Rentengutachten durchgeführt (Mai 2000 und Oktober 2001). Die MRT-Aufnahmen des OSG links vom 27.07.01 zeigten eine ausgeprägte großflächige Osteonekrose im OSG subchondral im Schienbein und geringgradig

auch im deformierten nach ventral abgeflachten Talus, sowie in der Tibia im Bereich des Pilon tibiale eine deutliche Deformierung und wellige Gelenkkonturoberfläche. Im Röntgen vom 27.07.01 (Abbildungen 11 und 12) zeigte sich ebenfalls, dass der Innenknöchel deutlich deformiert und der Außenknöchel eine unregelmäßige Knochendichte hat, sowie erhebliche Arthrosezeichen, vor allem im Bereich der Tibiagelenkfläche. Ebenfalls zeigte sich im Röntgen des OSG vom 08.05.2000 degenerative Veränderungen im Sinne einer posttraumatischen Arthrosis deformans mit geschlossenen Wachstumsfugen. Das letzte aktuelle Röntgenbild liegt vom 08.03.06 (Abbildung 13) vor.

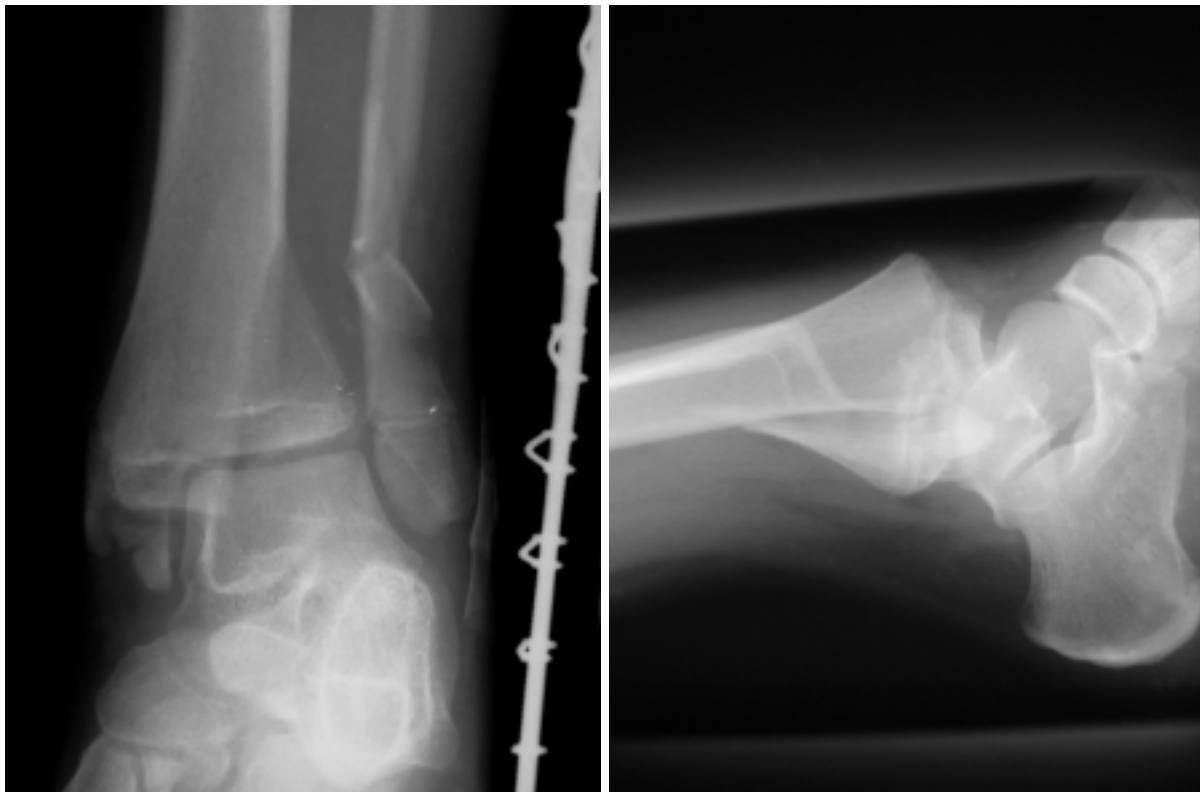


Abbildung 8 Röntgen vom 05.03.99: ap und seitlich (Pat. Nr. 31)



Abbildung 9 Röntgen vom 24.03.99: ap und seitlich (Pat. Nr. 31)



Abbildung 10 Röntgen vom 27.10.99: ap und seitlich (Pat. Nr. 31)



Abbildung 11 Röntgen vom 27.07.01: ap und seitlich (Pat. Nr. 31)



Abbildung 12 Röntgen vom 27.07.01: 45° Aufnahme (Pat. Nr. 31)



Abbildung 13 Röntgen vom 08.03.06: ap und seitlich (Pat. Nr. 31)

Patient Nr. 32 (Altersgruppe 18-24 Jahre):

Die Patientin ist am 17.06.1978 geboren. Die stationäre Aufnahme erfolgte am 31.01.1991 um 13:00 Uhr. Die Patientin zog sich ein Pronationstrauma um 11:30 im Schulsportunterricht zu, als sie vom Kasten eine Radwende gesprungen und mit dem rechten Fuß nach außen umgeknickt war. In der Klinik erhielt sie eine Braunsche Schiene. Die operative Versorgung erfolgte am 31.01.1991 von 15:35-17:45 Uhr bei einer distalen Unterschenkeltrümmerfraktur rechts (mit hinterem Volkmann und Durchtrennung der Epiphyse, sowie ein weiterer Fragmentabschnitt am Innenknöchel und eine Fibulafraktur) mit offener Reposition der Tibia und Schraubenosteosynthese ohne Versorgung der Fibulafraktur bei guter Stellung. Der stationäre Aufenthalt betrug vom 31.01. bis 13.02.1991 vierzehn Tage. Die Metallentfernung erfolgte am 22.05.1991 mit einem viertägigen stationären Aufenthalt.

Röntgenbilder liegen nicht mehr vor, da diese an die Versicherung verschickt worden waren und dort auch nicht mehr vorliegen. Die Patientin wurde am 19.02.02 erneut klinisch und röntgenologisch nachuntersucht. Dieser wurde eine Vorstellung in einer Spezialklinik für etwaige weitere Therapiemaßnahmen empfohlen bei röntgenologisch bestätigter Arthrose im OSG. Die Röntgenbilder wurden leihweise ausgehändigt. Die Patientin stellte sich jedoch bis heute nicht in der empfohlenen Klinik vor.

Patient Nr. 37 (Altersgruppe 18-24 Jahre):

Der Patient ist am 20.11.1980 geboren. Auf dem Nachhauseweg von der Schule wurde der Patient am 24.05.1993, der als Fahrradfahrer unterwegs war, von einem PKW angefahren. Er wurde mit Notarzt und Hubschrauber ins Krankenhaus gebracht. Es wurden folgende Verletzungen diagnostiziert: komplette distale Unterschenkelfraktur rechts, Femurschaftfraktur rechts, Humerusschaftfraktur links, Abriss der Arteria femoralis superficialis rechts, Schädelimpressionsfraktur links parieto-okzipital, Läsion des Nervus radialis und Nervus peroneus links.

Während der folgenden stationären Aufenthalte (Intensivstation 24.05.-15.06.93, Normalstation 15.06.-11.08.93) wurden folgende Operationen durchgeführt: Kirschnerdraht-Osteosynthese des rechten distalen Unterschenkels (24.05.1993) (Abbildung 14), elastische Markraumschienung rechter Femur und linker Humerus (24.05.93), Fasziotomie rechter Ober- und Unterschenkel (24.05.93), Anlage einer Hirndrucksonde (24.05.93), Gefäßrekonstruktion der A. femoralis superficialis rechts mittels Gore-Tex-Prothese (25.05.93), Deckung der Fasziotomiedefekte mit Epigard, Tegapore und Mesh-graft in mehreren Sitzungen, Entfernung der Kirschnerdrähte (01.07.93), Entfernung der Nägel im Bereich linker Oberarm (09.08.93), Hauttransplantation im Bereich des Gesäßes, im Bereich des rechten Unterschenkel, sowie des Hinterkopfes (16.07.93), Metallentfernung rechter Femur (22.12.93). Die im Verlauf abgelichteten Röntgenbilder können in den Abbildungen 15 bis 17 eingesehen werden. Der Patient gab an, dass sein Sprunggelenk posttraumatisch im Gips versteift worden sei.

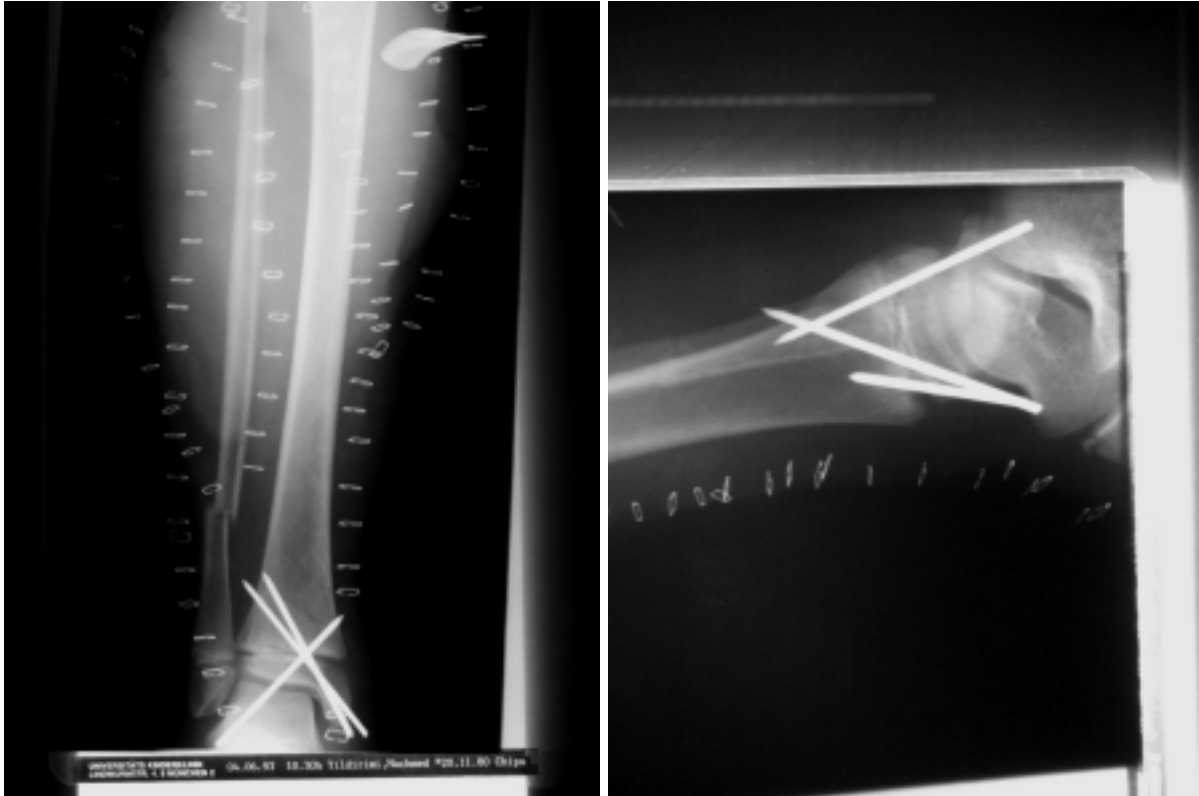


Abbildung 14 Röntgen vom 04.06.93: ap und seitlich (Pat. Nr. 37)



Abbildung 15 Röntgen vom 13.10.93: ap und seitlich (Pat. Nr. 37)



Abbildung 16 Röntgen vom 11.10.94: ap und seitlich (Pat. Nr. 37)



Abbildung 17 Röntgen vom 01.10.97: ap und seitlich (Pat. Nr. 37)

8. Verzeichnis der Abbildungen, Graphiken und Tabellen

8.1. Abbildungen:

| | | |
|--------------|---|-------|
| Abbildung 1 | EMED-SF | 11 |
| Abbildung 2 | Die Druckmessplatte | 11 |
| Abbildung 3 | Schematischer Aufbau der EMED-SF-Messanlage | 13 |
| Abbildung 4 | MLF aus Becker et al. (1997) | 17 |
| Abbildung 5 | Clinical Score | 90-91 |
| Abbildung 6 | Fragebogen | 83-84 |
| Abbildung 7 | Untersuchungsbogen | 85-89 |
| Abbildung 8 | Röntgen vom 05.03.99: ap und seitlich (Pat. Nr. 31) | 92 |
| Abbildung 9 | Röntgen vom 24.03.99: ap und seitlich (Pat. Nr. 31) | 93 |
| Abbildung 10 | Röntgen vom 27.10.99: ap und seitlich (Pat. Nr. 31) | 93 |
| Abbildung 11 | Röntgen vom 27.07.01: ap und seitlich (Pat. Nr. 31) | 94 |
| Abbildung 12 | Röntgen vom 27.07.01: 45° Aufnahme (Pat. Nr. 31) | 94 |
| Abbildung 13 | Röntgen vom 08.03.06: ap und seitlich (Pat. Nr. 31) | 95 |
| Abbildung 14 | Röntgen vom 04.06.93: ap und seitlich (Pat. Nr. 37) | 97 |
| Abbildung 15 | Röntgen vom 13.10.93: ap und seitlich (Pat. Nr. 37) | 97 |
| Abbildung 16 | Röntgen vom 11.10.94: ap und seitlich (Pat. Nr. 37) | 98 |
| Abbildung 17 | Röntgen vom 01.10.97: ap und seitlich (Pat. Nr. 37) | 98 |

8.2. Graphiken:

| | | |
|------------|---|----|
| Graphik 1 | Gesamtergebnis des Clinical Score | 20 |
| Graphik 2 | Fußfläche [cm ²] und Alter [Jahre] aller Patienten | 30 |
| Graphik 3 | Fußfläche [cm ²] und Alter [Jahre] aller Probanden | 30 |
| Graphik 4 | Boxplot, Symmetrie-Index Fußfläche [] | 32 |
| Graphik 5 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Probanden 10-13 J. | 35 |
| Graphik 6 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; alle Patienten | 35 |
| Graphik 7 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 8 | 36 |
| Graphik 8 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 20 | 36 |
| Graphik 9 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 23 | 37 |
| Graphik 10 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patienten mit gutem klinischen Ergebnis 14-17 Jahre (N=17) | 38 |
| Graphik 11 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patienten mit gutem klinischen Ergebnis 18-24 Jahre (N=13) | 39 |
| Graphik 12 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 31 | 39 |
| Graphik 13 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 32 | 40 |
| Graphik 14 | Verlaufskurve der Bodenreaktionskraft; Patient Nr. 37 | 40 |
| Graphik 15 | Relativimpuls [%](N=1), Patient mit schlechtem klinischen Ergebnis (14-17 Jahre) | 51 |
| Graphik 16 | Relativimpuls [%], Nr. 32 (schlechtes klinisches Ergebnis) | 53 |
| Graphik 17 | Verlaufskurve Bodenreaktionskraft aus Debrunner (1988) | 67 |

8.3. Tabellen:

| | | |
|------------|---|-------|
| Tabelle 1 | Alter am Unfalltag | 6 |
| Tabelle 2 | Alter bei Nachuntersuchung | 7 |
| Tabelle 3 | Unfallursachen im Freizeitsport / zu Hause | 7 |
| Tabelle 4 | Unfallursachen in der Schule und im Schulsport | 7 |
| Tabelle 5 | AO-Klassifikation der Frakturen | 8 |
| Tabelle 6 | Technische Daten der Messplattform EMED SF-4 (Novel) | 11 |
| Tabelle 7 | SI-Wert und Verhältnis X1 zu X2 | 18 |
| Tabelle 8 | Clinical Score mit Untergruppen | 20 |
| Tabelle 9 | Patienten Neutral-Null-Messung [°] (N=34) | 25 |
| Tabelle 10 | Normbereiche der Neutral-Null-Messung [°] | 25 |
| Tabelle 11 | Patienten Neutral-Null-Messung [°] mit schlechtem Ergebnis | 26 |
| Tabelle 12 | Mann-Whitney-U-Test für Patienten und Probanden | 28 |
| Tabelle 13 | Anthropometrische Daten der Patienten und Probanden | 28 |
| Tabelle 14 | Fußfläche [cm ²] Probanden und Patienten | 29 |
| Tabelle 15 | Symmetrie-Index Fußfläche [%] | 31 |
| Tabelle 16 | Bodenkontaktzeit [ms] | 32 |
| Tabelle 17 | Werte (TOTAL) der Bodenreaktionskraft [%KG] | 34 |
| Tabelle 18 | Symmetrie-Index [%] des Maximaldruckes; Probanden und Patienten mit gutem klinischen Ergebnis | 41-42 |
| Tabelle 19 | Symmetrie-Index [%] des Maximaldruckes; Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis | 42 |
| Tabelle 20 | Maximaldruck [N/cm ²] Probanden und Patienten (10-13) | 42-43 |
| Tabelle 21 | Maximaldruck [N/cm ²] Probanden und Patienten (14-17) | 44 |
| Tabelle 22 | Maximaldruck [N/cm ²] Probanden und Patienten (18-24) | 45-46 |
| Tabelle 23 | Symmetrie-Index [%] der Relativimpulswerte; Probanden und Patienten mit gutem klinischen Ergebnis | 47 |
| Tabelle 24 | Symmetrie-Index [%] der Relativimpulswerte; Patienten mit schlechtem klinischen Ergebnis | 48 |
| Tabelle 25 | Relativimpulswerte [%] Probanden und Patienten (10-13) | 48 |
| Tabelle 26 | Relativimpulswerte [%] Probanden und Patienten (14-17) | 50 |
| Tabelle 27 | Relativimpulswerte [%] Probanden und Patienten (18-24) | 52 |
| Tabelle 28 | MLF, FFI, VFI [] und SI [%] Probanden und Patienten | 54-55 |

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mir die Erstellung dieser Arbeit ermöglichten und bei all denjenigen, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. med. I. Joppich, der mir die Durchführung dieser Studie in der Kinderchirurgie ermöglichte.

Ferner danke ich Herrn Professor Dr. med. H.-G. Dietz für die Überlassung des Themas.

Vor allem möchte ich mich bei Herrn Dr. med. P. Knorr bedanken, der mich stets bei der Durchführung der Studie begleitete und jederzeit für Fragen zur Verfügung stand.

Bei Frau Aydemir und bei Herrn Strobl bedanke ich mich für die statistische Beratung.

Außerdem bin ich für die Zusendung zahlreicher Artikel durch Herrn Dr. Kaplan, Firma Novel GmbH dankbar.

Ganz besonders gilt mein Dank vor allem all den Patienten und den Personen der Kontrollgruppe, die ihre Zeit opferten und zum Gelingen dieser Studie beitrugen.

Insbesondere fühle ich mich meinen Eltern verbunden, die das Studium ermöglichten und mir jederzeit beistanden.

Lebenslauf

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Name | Christian Alexander Bäuml |
| Geburtsdatum | 07.09.1978 |
| Geburtsort | Kulmbach |
| Staatsangehörigkeit | deutsch |
| Familienstand | ledig |

Schulbildung

| | |
|-------------|---------------------|
| 1985 – 1989 | Grundschule München |
| 1989 – 1998 | Gymnasium München |

Universitätsausbildung

| | |
|-------------|---|
| 1998 – 2004 | Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität München |
|-------------|---|

Beruflicher Werdegang

| | |
|-----------------|---|
| 2005 – 2007 | Assistenzarzt in der Chirurgie Chefarzt Dr. E. Brunner und Dr. L. Krätzig Kliniken St. Elisabeth, Neuburg/Donau |
| Seit April 2007 | Assistenzarzt in der Unfallchirurgie Chefarzt Prof. Dr. R. Neugebauer Barmherzige Brüder, Regensburg |