

**Aus der Klinik für Technische Orthopädie und
Rehabilitation
der Westfälischen Wilhelms- Universität Münster**

- Direktor: Univ.-Prof. Dr. H.H. Wetz -

**Der Einfluss des Körpergewichts
auf den plantaren Spitzendruck
beim Diabetiker**

INAUGURAL – DISSERTATION

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

**Vorgelegt von
Christian Beckmann
aus Borken**

2003

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Prof. Dr. rer.nat.B. Drerup

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Winkelmann

Tag der mündlichen Prüfung: 3.November 2003

Aus der Klinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation der Westfälischen Wilhelms Universität Münster

- Direktor: Univ.-Prof. Dr. H.H.Wetz -
- Referent: Prof. Dr.rer.nat. B. Drerup -
- Korreferent : Univ.-Prof. Dr. W. Winkelmann

Zusammenfassung

Einer der Langzeitschäden des Diabetes Mellitus ist das **Diabetische Fuß - Syndrom (DFS)**, dessen Exazerbation einzudämmen eine tägliche klinische Herausforderung an den Arzt und das Pflegepersonal darstellt[8]. Der diabetische Fuß ist eine der schwersten, und dennoch am meisten vernachlässigten Folgeerkrankungen des Diabetes Mellitus. Ca. 28000 Amputationen als Folge von Durchblutungsstörungen, Geschwürbildung und Infektionen in Verbindung mit dem Diabetes Mellitus werden jedes Jahr durchgeführt [5]. Zur Vorbeugung trägt aus orthopädischer Sicht eine möglichst optimale Schuhversorgung bei, die den für den Fuß schädlichen Pathomechanismus des hohen plantaren Fußdruckes zu vermindern versucht, um mögliche resultierende Ulzerationen so zu verhindern bzw. vorhandene besser abheilen zu lassen.

Bei der Entstehung eines Druckkulus spielt der plantare Spitzendruck eine entscheidende Rolle. Bei vorhergehenden Untersuchungen konnte in Querschnittsuntersuchungen kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Spitzendruck festgestellt werden [9,21].

In dieser Studie wird der Einfluss des Körpergewichts auf den plantaren Spitzendruck bei simulierter Gewichtszunahme und simulierter Gewichtsreduzierung untersucht. Die zugrunde liegende Frage ist, ob eine Abnahme des Körpergewichts für einen Diabetiker einen Benefit hinsichtlich eines niedrigeren Spitzendrucks und damit einer reduzierten Gefahr für die Ulkuserstehung darstellt. In dieser Untersuchung wird nun eine Gewichtsveränderung am Probanden künstlich erzeugt, sodass hier von einer simulierten Längsschnittstudie gesprochen werden kann.

Die Druckverteilungsmessung (Pedobarographie) unter der Fußsohle kann wertvolle Ergebnisse für die Erkennung von Über- und /oder Fehlbelastungen des Fußes liefern[19].

Anhand von insgesamt 10 Probanden - einer Gruppe von 5 Patienten, die an Diabetes Mellitus erkrankt sind und einer ebenso starken gesunden Kontrollgruppe - werden mit je 20 kg Entlastung, Eigengewicht (körpereigenes Gewicht) und 20 kg Belastung jeweils 7 Messungen des plantaren Spitzendrucks durchgeführt. Mit dem PEDAR™ Meßsystem der Fa. NOVEL werden die Messungen ausgewertet. Es ergeben sich dabei folgende Ergebnisse :

Die Messungen an allen 10 Probanden sind technisch einwandfrei und können somit ausgewertet werden. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Unabhängig vom gemessenen Eigengewicht und dem plantaren Spitzendruck der Probanden zeigt diese Studie, dass bei einer simulierten Gewichtszu- bzw. abnahme individuell ein Einfluss auf den Spitzendruck zu beobachten ist. Dieser Einfluss ist über der gesamten Fußsohle zu beobachten. Insgesamt ist bei simulierter Gewichtszunahme dieser Effekt im Fußballbereich und der Ferse signifikant. Insbesondere bei Diabetikern sind die Werte bei simulierter Gewichtszunahme im Bereich der Zehen erhöht. Bei simulierter Gewichtsabnahme lässt sich bei den Diabetikern gegenüber den Nichtdiabetikern besonders unter der Großzehe, aber auch unter dem Fußballen und der Ferse ein verminderter Spitzendruck messen. Der Spitzendruck verringert sich bei Diabetikern um 35,5% gegenüber dem bei Eigengewicht. Aus diesen Ergebnissen lässt sich eine klinische Anwendung in Form einer Vorhersage einer Spitzendruckentlastung durch Gewichtsreduktion formulieren. Der Einfluss langfristiger Adaptionsprozesse kann jedoch nicht vorhergesagt werden. Somit kann dem Diabetiker mit Übergewicht, bei dem zur Prävention von Fußulzerationen die Vermeidung eines überhöhten plantaren Spitzendrucks angeraten ist, eine Gewichtsabnahme empfohlen werden.

Tag der mündlichen Prüfung : 3. November 2003

in Gedenken an Marianne

| | |
|---|------------|
| Inhaltsverzeichnis..... | VII |
| Abkürzungsverzeichnis..... | IX |
| Abbildungsverzeichnis..... | X |
| Tabellenverzeichnis..... | XII |
| | |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.2 Ziel der Untersuchung..... | 2 |
| | |
| 2 Grundlagen..... | 3 |
| 2.1 Diabetes Mellitus..... | 3 |
| 2.2 Komplikationen des Diabetes Mellitus..... | 5 |
| 2.2.1 Akute Komplikationen..... | 5 |
| 2.2.2 Chronische Komplikationen..... | 6 |
| 2.2.2.1 Mikroangiopathie..... | 6 |
| 2.2.2.2 Polyneuropathie..... | 7 |
| 2.2.2.3 Makroangiopathie..... | 8 |
| 2.3 Das Diabetische Fußsyndrom..... | 9 |
| 2.4 Physiologie des Gehens..... | 12 |
| 2.4.1 Gangzyklus..... | 12 |
| 2.4.2 Der plantare Fußdruck..... | 15 |
| 2.4.3 Der Spitzendruck | 17 |
| 2.5 Das Messsystem..... | 18 |
| | |
| 3 Material und Methoden..... | 21 |
| 3.1 Patienten und Probanden..... | 21 |
| 3.2 Ausschlusskriterien..... | 22 |
| 3.3 Schuhwerk | 22 |
| 3.4 Gewichtssimulation..... | 23 |
| 3.4.1 Simulierte Gewichtszunahme..... | 23 |
| 3.4.2 Eigengewicht..... | 24 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.3 Simulierte Gewichtsentlastung..... | 24 |
| 3.4.4 Justierung der Gewichtsverteilung mit L.A.S.A.R. | 25 |
| 3.5 Messprotokoll | 29 |
| 3.6 Auswertung der Druckmessungen..... | 30 |
| 4 Ergebnisse | 33 |
| 4.1 Entlastung | 34 |
| 4.2 Normalgewicht..... | 35 |
| 4.3 Belastung..... | 36 |
| 4.4 Ergebnisse im Bereich M2, M3, M6..... | 38 |
| 4.4.1 Entlastung..... | 38 |
| 4.4.2 Belastung..... | 40 |
| 4.5 Kraft -Zeit - Integral..... | 42 |
| 5 Diskussion..... | 44 |
| 5.1 Wiederholbarkeit der Ergebnisse..... | 44 |
| 5.2 Spitzendrücke..... | 47 |
| 5.2.1 Spitzendrücke bei Eigengewicht..... | 47 |
| 5.2.2 Spitzendrücke bei Simulation..... | 48 |
| 5.2.2.1 Belastung..... | 48 |
| 5.2.2.2 Entlastung..... | 49 |
| 5.2.2.3 Vergleich von Belastung und Entlastung..... | 51 |
| 5.2.2.4 Vergleich von Nichtdiabetikern und Diabetikern..... | 51 |
| 5.3 Fazit für die Praxis..... | 53 |
| 6 Zusammenfassung..... | 54 |
| Anhang..... | 57 |
| Literaturverzeichnis..... | 57 |
| Danksagung..... | 61 |

Abkürzungsverzeichnis.....IX

| | |
|------------|--|
| DFS | Diabetisches Fußsyndrom |
| MPP | Max. Pressure Picture, Plantarer Spitzendruck |
| MVP | Mean Value Picture, Mittlere Druck |
| IDMM | Insulin Dependent Diabetes Mellitus |
| NIDDM | Non Insulin Dependent Diabetes Mellitus |
| PNP | Polyneuropathie |
| PAVK | Periphere arterielle Verschlusskrankheit |
| MTP | Metatarsophalangealgelenk |
| DNOAP | Diabetische Neuropatische Osteo- arthropathie |
| L.A.S.A.R. | Laser assisted static alignment reference |
| \bar{X} | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 1a: | Beispiel eines Malum perforans pedis beidseits | 11 |
| Abb. 1b: | Beispiel eines Malum perforans pedis am Großzeh links | 11 |
| Abb. 2: | Stand- und Schwungphase während des Gangzyklus | 13 |
| Abb. 3: | Myokinesigramm der unteren Extremität | 14 |
| Abb. 4: | Druck-Toleranz der Haut in Abhängigkeit von der Zeit | 16 |
| Abb. 5 : | Graphische Darstellung des Spitzendrucks | 17 |
| Abb. 6: | PEDAR™ -System FA. NOVEL, München | 18 |
| Abb. 7: | Darstellung der Druckverteilung anhand von Farben | 19 |
| Abb. 8: | Einheitlicher Schuh Finn Comfort mit Korkeinlage | 22 |
| Abb. 9: | Simulierte Gewichtszunahme mit einer Gewichtsweste | 23 |
| Abb. 10: | modifizierte Rettungs- und Bergungsweste | 25 |
| Abb. 11: | L.A.S.A.R.- Posture Plattform mit Messeinheit | 26 |
| Abb. 12: | Schematischer Aufbau des L.A.S.A.R. - posture | 27 |
| Abb. 13: | Vorversuch mit dem L.A.S.A.R.- posture | 28 |
| Abb. 14: | Pedar-c emedlink, Benutzeroberfläche | 31 |
| Abb. 15: | NovelOrtho – <i>average</i> , Benutzeroberfläche | 31 |
| Abb. 16: | Einteilung der Fußsohle mit einer Maske in Regionen | 32 |
| Abb. 17: | Darstellung des Kraft-Zeit-Integrals | 42 |

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 18: | Spitzendruck und Eigengewicht | 45 |
| Abb. 19 | Vergleich Diabetiker – Nichtdiabetiker beim Spitzendruck in den Fußregionen M1 – M6 | 47 |
| Abb. 20 | Druckverteilung bei simulierter Belastung bei Diabetikern gegenüber Nichtdiabetikern | 49 |
| Abb. 21 | Druckverteilung bei simulierter Entlastung bei Diabetikern gegenüber Nichtdiabetikern | 50 |
| Abb. 22 | Auswirkung von Gewichtsimulation in M3 | 56 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| Tab. 1: | Risikofaktoren für die Entwicklung eines diabetischen Fußsyndroms | 9 |
| Tab. 2: | Patientendaten | 21 |
| Tab. 3: | Messwerte des Spitzendrucks bei Diabetiker (Entlastung 20 kg) | 34 |
| Tab. 4: | Messwerte des Spitzendrucks bei Nichtdiabetiker (Entlastung 20 kg) | 34 |
| Tab. 5: | Messwerte des Spitzendrucks bei Diabetiker (Eigengewicht) | 35 |
| Tab. 6: | Messwerte des Spitzendrucks bei Nichtdiabetiker (Eigengewicht) | 35 |
| Tab. 7: | Messwerte des Spitzendrucks bei Diabetiker (Zusatzgewicht 20 kg) | 36 |
| Tab. 8: | Messwerte des Spitzendrucks bei Nichtdiabetiker (Zusatzgewicht 20 kg) | 36 |
| Tab. 9: | Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Diabetikern mit Entlastung (-20kg). \bar{X} = Mittelwert, SD = Standardabweichung | 38 |
| Tab. 10: | Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Nichtdiabetikern mit Belastung (+20kg) | 39 |
| Tab. 11: | Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Diabetikern mit Belastung (+20kg) | 40 |
| Tab. 12: | Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Nichtdiabetikern mit Belastung (+20kg) | 41 |
| Tab. 13: | Werte der Berechnung des Kraft-Zeit-Integrals bei Diabetikern | 43 |
| Tab. 14: | Werte der Berechnung des Kraft-Zeit-Integrals bei Nichtdiabetikern | 43 |
| Tab. 15: | Mittlerer Spitzendruck bei Entlastung | 51 |
| Tab. 16: | Mittlerer Spitzendruck bei Belastung | 52 |

1 Einleitung

Der Diabetes Mellitus ist ein bedeutendes und zunehmendes Gesundheitsproblem in Europa. Es ist eine Stoffwechselerkrankung, die den Kliniker und den niedergelassenen Arzt täglich fordert. Der Anteil der in der Bundesrepublik Deutschland betroffenen Personen beträgt zur Zeit bei ca. 4 Millionen Menschen[5]. Einen großen Anteil der durch den Diabetes Mellitus entstehenden Kosten nimmt dabei die Therapie und die Versorgung des Diabetischen Fußsyndroms (DFS) ein, welches eine häufige Spätkomplikation darstellt und multifaktorieller Genese ist [5,10,20].

Das diabetische Fußsyndrom umschreibt dabei eine Form von vielen Folgeerkrankungen im Erscheinungsbild des Diabetes Mellitus, welches mit Geschwürbildung (Ulcus) bis hin zum Absterben (Nekrose) von Gewebe und Gliedmaßen, besonders an der unteren Extremität einhergeht und so zur Amputation führen kann [4,17]. Trotz der St. Vincent Deklaration von 1989 hat sich die Inzidenz der Unterschenkelamputationen im Zeitraum von 1990 – 1998 nicht verändert. Über die gesamte Lebensspanne gesehen, weisen Diabetiker ein 22fach höheres Amputationsrisiko auf als Nichtdiabetiker, in der Altersspanne zwischen 40 und 56 Jahren ist das Amputationsrisiko sogar 59mal so hoch und steigt im höheren Lebensalter noch weiter an[24].

Ein wesentlicher Faktor bei der Entstehung eines Ulcus an der Fußsohle ist die Höhe des plantaren Druckes [2,17]. Druckbelastung und Mikrozirkulationsstörungen in Kombination mit neuropatischen Veränderungen bereiten den Weg für die Ulkuserkrankung. Dabei wird im wesentlichen zwischen zwei Modellen der Ulkuserkrankung durch Druckeinwirkung unterschieden. Kosiak beschreibt die Druck - Toleranz der Haut in Abhängigkeit von der Zeit, wobei sowohl die Dauer der Druckeinwirkung als auch die Höhe verantwortlich für die Entstehung von Ischämie und Nekrose ist [25]. Hiermit in engem Zusammenhang steht der **mittlere Druck** (Mean Pressure, MP). Er beschreibt das zeitliche Mittel des Drucks während der Kontaktphase. Die Mittelung kann über eine

isolierte Kontaktstelle, eine Fußregion oder über den gesamten Fuß erfolgen. In letzterem Fall spiegelt sich in ihm das Körpergewicht wieder. Der **Spitzendruck** (Peak Pressure, PP) als Maß für den während einer Messperiode maximal erreichten Druckwert an einer vorgegebenen Stelle wird von Klinikern meist in engem Zusammenhang mit der Ulkuserstehung gesehen. Dabei entstehen als Folge von repetitiven Traumata zunächst Schwielen, dann subepidermale Blasen mit blutig und/oder eitrigem Inhalt, die aufbrechen und ulzerieren und als Eintrittspforte für Infektionen fungieren[10].

Es entsteht dabei die Frage nach einer möglichen positiven Auswirkung einer Gewichtsreduktion des Patienten auf diese vorgenannten Parameter. Eine verbesserte Durchblutung sowie eine Verminderung des plantaren Druckes sind sinnvolle Therapieansätze, die der Arzt berücksichtigen sollte. Diese Ziele lassen sich durch eine orthopädiesschuhtechnische Versorgung erreichen. Hierzu gehören die Versorgung mit Einlagen, Fußbettung bis hin zu orthopädischen Schuhzurichtungen. Hierdurch lässt sich der Spitzendruck bis zu 50% senken [11]. Diese Schuhe dienen sowohl dem Abheilungsprozess der Ulzera als auch zu deren Prophylaxe [3].

Wenn die Druckbelastung des Fußes eine wesentliche Rolle spielt und sie im zeitlichen Mittel proportional der Gewichtskraft des Körpers ist, so ist anzunehmen, dass eine Verringerung bzw. Erhöhung des Körpergewichtes einen Einfluss auf den plantaren Druck und damit auch auf die Entstehung von Ulzera hat.

1.2 Ziel der Untersuchungen

Schon länger sind erhöhte Spitzendrücke bei Diabetikern mit Diabetischem Fußsyndrom bekannt und im Zusammenhang damit die erhöhte Ulkusgefahr [12].

In einer Querschnittsuntersuchung von Schaff [21] wurden Fußdruckmessungen an Diabetikern mit dem EMED-System durchgeführt. Dabei

stellte er jedoch fest, dass keine Korrelation zwischen dem Maximaldruck (Peak Pressure) und dem gemessenem Körpergewicht vorliegt, demzufolge also auch bei Norm - bzw. Untergewichtigen hohe Spitzendrücke vorhanden und umgekehrt bei Übergewichtigen nicht notwendig erhöhte Spitzendrücke vorliegen müssen. Dieses Ergebnis unterstreicht frühere Querschnittsuntersuchungen von Cavanagh [9] bei Diabetikern und einer Kontrollgruppe, bei welchen ebenfalls keine Korrelation dieser beiden Parameter festgestellt werden konnte. Da es sich aber nicht um eine Längsschnittuntersuchung handelt, liefert die Untersuchung keinen Aufschluss darüber, wie sich der Maximaldruck bei jeweils einer Person durch Gewichtszunahme oder Gewichtsreduktion - etwa über eine Diät - einstellt. Dieser individuelle Faktor wurde bisher in Versuchsreihen mit Fußdruckmessungen nicht gemessen und ist aus praktischen Gründen auch schwer zu erfassen. Die hier vorliegende experimentelle Studie simuliert die Gewichtszunahme bzw. Gewichtsabnahme, so dass von einer simulierten Längsschnittuntersuchung gesprochen werden kann.

Anhand einer, an einer Deckenschiene freilaufend aufgehängten Entlastungsweste, kann eine Gewichtsreduktion eingestellt werden, welche diese Gewichtsabnahme simuliert und somit ermöglicht, diese individuellen Messwerte zu erfassen. Andererseits wird durch eine Gewichtsweste eine Gewichtszunahme erreicht. Somit können die unterschiedlichen Gewichtszustände und deren Auswirkungen auf den plantaren Spitzendruck an derselben Person gemessen werden. Damit soll geprüft werden, ob die Gewichtsreduktion als Prophylaxe für die Entstehung eines Diabetischen Fußsyndroms sinnvoll ist.

Diese experimentelle Studie untersucht den Einfluss auf den plantaren Spitzendruck (Peak Pressure) durch simulierte Gewichtsreduktion und Gewichtszunahme bei Patienten mit Diabetes Mellitus und gesunden Probanden mit Hilfe des PEDAR™ – Messverfahrens (Fa.Novel).

Untersucht und gegenübergestellt werden in dieser Studie Patienten mit Diabetes Mellitus und gesunde Probanden.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt den Diabetes Mellitus, erklärt den klinischen Begriff des „Diabetischen Fußsyndroms“ (DFS), dessen Äthiologie und Konsequenzen für die orthopädische Therapie.

Ferner werden die Meßmethoden vorgestellt, welche eine physikalisch-pedobarographische Betrachtung des diabetischen Fußsyndroms ermöglichen und somit einen Zusammenhang zur Therapie durch Druckentlastung herstellen.

2.1 Diabetes Mellitus

Der Diabetes Mellitus ist eine Stoffwechselerkrankung, die in der Bundesrepublik ca. 4 Millionen Menschen betrifft [5]. Es handelt sich dabei um eine Erkrankung des Inselzellorgans des endokrinen Anteils der Bauchspeicheldrüse, bei der der Kohlenhydratstoffwechsel betroffen und die Glucoseverwertung gestört ist. Man unterscheidet zwei Formen von Diabetes Mellitus.

Beim Typ I Diabetiker (früher juveniler, jetzt **IDDM** = Insulin Dependent Diabetes Mellitus) werden die B – Zellen des Inselzellapparates selektiv durch einen Autoimmunprozess (selten auch idiopathisch) zerstört, so dass ein absoluter Mangel an Insulin besteht und Insulin somit substituiert werden muss. Diese Form kann sich bereits im Kindesalter entwickeln, aber auch erst in der Adoleszenz bis hin zum Erwachsenenalter [7]. Es besteht die Gefahr von rezidivierenden Hyperglykämien mit der Folge einer ketoazedotischen Stoffwechsellage, die zum diabetischen Koma führen kann.

Der Typ II Diabetes (**NIDDM** = Non Insulin Dependent Diabetes Mellitus) bezeichnet die im Alter erworbene Zuckerkrankheit. Unterteilt wird diese Form in Typ II a, welche den normal bis untergewichtigen Diabetiker umfasst und den Typ II b, welcher häufig durch überkalorische Ernährung mit erhöhtem Körpergewicht einhergeht.

Hier liegt eine Störung der B – Zellfunktion oder eine verminderte Ansprechbarkeit bzw. Resistenz des Muskel – und Fettgewebes auf Insulin vor (relativer Insulinmangel) und es kommt somit zu einer verzögerten oder verminderten Sekretion von Insulin. Die Utilisation von Glucose in die Zelle ist gestört, eine chronische Hyperglycämie ist die Folge.

Die genetische Disposition steht häufig im Vordergrund, ebenfalls ein Mangel an Bewegung. Die Inzidenz nimmt mit steigendem Lebensalter zu mit einem besonders auffälligen Anstieg etwa ab dem 50. Lebensjahr. Die folgende Liste gibt einen Überblick über die Hauptsymptome, welche zu Beginn der Erkrankung auftreten.

Symptome:

- Exzessiver Durst
- Vermehrter Hunger
- Polyurie (häufiges Wasserlassen)
- Unerklärbarer Gewichtsverlust
- Müdigkeit, Adynamie
- Sehstörungen (Verschwommenes Sehen)
- Trockene Haut und Schleimhäute
- Periphere Parästhesien
- Gestörte Wundheilung, gehäufte Wundinfekte
- Oberbauchschmerzen (Ketoazidose)
- Bei Typ I Diabetes initial oft Schwindel, Erbrechen,

2.2 Komplikationen des Diabetes Mellitus

2.2.1 Akute Komplikationen

Eine für den Diabetiker lebensbedrohliche akute Komplikation besteht im ketoazedotischen Koma (Coma diabeticum). Ursache ist ein akuter Insulinmangel, der die Glucoseaufnahme in die peripheren Gewebe stark

vermindert und so die Glycolyse der Leber erhöht. Die Folge ist eine Hyperglycämie. Da die Glucose dem Körper nicht zur Verfügung steht, doch Energie benötigt wird, kommt es zur Lipolyse mit Erhöhung der freien Fettsäuren im Blut. Diese freien Fettsäuren werden in der Leber zu Ketonkörpern oxidiert und ins Blut abgegeben. So gelangen sie in das Gehirn und blockieren den Stoffwechsel in Form einer Ketoacidose, was letztendlich zum Koma führt.

2.2.2 Chronische Komplikationen

2.2.2.1 Mikroangiopathie

Als Folgeveränderungen findet sich bei lange bestehendem Diabetes Mellitus (10-20 Jahre) bei 40 –50 % der Patienten eine klinisch manifeste Mikroangiopathie[7]. Mögliche Ursache kann unter anderem eine spezifische Verdickung der Basalmembran der Kapillaren sein. Bei persistierender Hyperglykämie werden kontinuierlich höhergradige Glykosylierungsprodukte gebildet, die einerseits als toxische Stoffwechselprodukte an der Pathogenese der Mikroangiopathie beteiligt sind und andererseits gemessen werden können (z.B. Fruktosamin - gleiche Bedeutung wie HbA1c) und somit kontrollierbar sind. Die Mikroangiopathie besteht in Form einer Arterio- bzw. Arteriolo-sklerose, welche die Kapillaren der Augen als Retinopathie (Mikroaneurysmen, Blutungen, Ödeme, dann Vernarbungen mit Fibrose im proliferativen Stadium mit Folge eines Visusverlustes) betrifft. Diese Veränderungen finden sich auch im Parenchym der Nieren wieder, die sich als Glomerulosklerose (Morbus Kimmelstiel - Wilson) mit der möglichen Folge der Niereninsuffizienz bis hin zum Nierenversagen zeigen kann. Typ I genauso wie Typ II Diabetiker weisen ein etwa 50 %iges Risiko auf, im Verlauf von 25 Jahren eine diabetische Nephropathie zu entwickeln [14]. In wieweit die Mikroangiopathie einen Einfluss auf die Entstehung von plantaren Ulzera hat, wird unterschiedlich gesehen, da sich im

klinischen Alltag auch häufig eine durchaus gute mikro-arterielle Versorgung beim DFS nachweisen lässt und dennoch ein Ulcus entstanden ist.

2.2.2.2 Polyneuropathie (PNP)

Neuropathien haben als Langzeitkomplikation bei Typ I und Typ II Diabetes Mellitus eine Prävalenz von 20 – 50 %. Ihre Häufigkeit nimmt mit steigendem Alter, zunehmender Diabetesdauer und langfristig unzureichender Stoffwechselführung signifikant zu [22]. Die Entwicklung der Ausfallerscheinungen im Bereich der Extremitäten – besonders im Bereich der unteren Extremität - ist zumeist symmetrisch ausgeprägt und betrifft die sensiblen Nervenfasern. Als Ursachen sind eine energetische Erschöpfung der Nervenzelle und eine vermehrte Proteinglykolysierung zu betrachten. Diese äußert sich in einer zunehmenden Indolenz gegenüber Traumata, die etwa durch Stöße oder Druck (zu enge Schuhe, Steine im Schuh) verursacht werden. Das Temperaturempfinden ist vermindert. Der Schutzmechanismus, ausgelöst durch die Schmerzwahrnehmung, ist nicht oder nur teilweise bzw. gering vorhanden. Weiterhin können Missempfindungen wie Parästhesien, Hyperästhesien und Taubeitsgefühle auftreten. Die Muskeleigenreflexe sind abgeschwächt bis erloschen.

In bezug auf den Funktionsverlust der motorischen Fasern führt dieser zu einer Lähmung der intrinsischen Fußmuskulatur, welche sich als Dysbalance der einwirkenden Kräfte auf das **Metatarsophalangealgelenk (MTP)** äußert, da nun die extrinsische Fußmuskulatur dominiert. Zusätzlich liegt eine Dysregulation in Form einer vorzeitigen Innervation der zuständigen Neuronen vor. In der Abstoßphase des Gangzyklus wird so die Bildung der Krallenzehen initiiert.

Weniger häufig sind die autonomen neuropatischen Störungen. Sie können prinzipiell jedes innervierte Organ betreffen. Sie haben Einfluss

auf den Verdauungstrakt (verminderte Motilität und Sekretion), die Blasenentleerungsfunktion oder auf das kardiovaskuläre System (stummer Herzinfarkt). Eine herabgesetzte Schweiß- und Talgdrüsenfunktion begrenzt die Wirkung des Säureschutzmantels der Haut und begünstigt die Infektionsbereitschaft an defekten Hautarealen. Diese wird noch zusätzlich durch den erhöhten Blutglucosespiegel, der einen guten Nährboden für Bakterien darstellt, gefördert.

2.2.2.3 Makroangiopathie

Die Atherosklerose betrifft insbesondere die mittleren und großen Blutgefäße und entwickelt sich beim Diabetiker gegenüber einem Nichtdiabetiker vorzeitiger und auch deutlich beschleunigt, beispielsweise durch vermehrte Lipolyse und/oder Monozytenaggregation an der Gefäßwand. Dieses führt zur Insuffizienz der Versorgung der Gefäße (vasa vasorum), der Gefäße selber und des zu versorgenden Gewebes. Die Minderversorgung des Gewebes geht mit einer Gewebshypoxie einher, welche damit den Weg zur Gangrän bzw. Nekrose bereitet. Zusätzlich besteht ein wesentlich erhöhtes Infarktrisiko der zerebralen und koronaren Gefäße (zerebraler Insult, Myokardinfarkt) durch Zunahme der Stenose bis zum Verschluss der Strömungsbahn. Durch die Stenose einer Nierenarterie kann es zum Beispiel zur sekundären renalen Hypertonie kommen, welche das Fortschreiten der Atherosklerose im Sinne eines Circulus vitiosus wieder beschleunigt.

2.3 Das Diabetische Fußsyndrom

Per definitionem schließt das Diabetische Fußsyndrom (DFS) die bei einer diabetischen Stoffwechsellage aufgetretenen Läsionen am Fuß ein. Bei etwa 4 Millionen Diabetikern in der Bundesrepublik sind ca.35 – 65 % der Patienten betroffen [5].

Diabetiker haben ein etwa 22fach höheres Beinamputationsrisiko als Nichtdiabetiker [22]. Bei jedem Diabetiker droht das Risiko des Erwerbs eines diabetischen Fußsyndroms. Die nachfolgende Aufstellung gibt eine Übersicht der möglichen Risikofaktoren.

| Risikofaktoren für die Entwicklung eines diabetischen Fußsyndroms |
|--|
| Alter |
| Diabetesdauer |
| Grad und Chronizität der Hyperglycämie |
| Mangelnde Schulung |
| Neuropathie |
| pAVK |
| Fußdeformitäten |
| Nephropathie |
| Hypertonie |
| Retinopathie |
| Dyslipidämie |
| Herzinsuffizienz |
| Z.n. Fußulkus oder Amputation |
| Inadäquate Fußpflege und Schuhwerk |
| Nikotinabusus |
| Alkoholabusus |

Tab.1: Risikofaktoren für die Entwicklung eines diabetischen Fußsyndroms [17]

Polyneuropathie (PNP) und **periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK)** sind die wesentlichen pathogenetischen Voraussetzungen für das Entstehen des Diabetischen Fußsyndroms (DFS). Hinzu kommen dann Traumata durch Druckeinwirkungen, Verletzungen, thermische Einwirkungen oder Frakturen im Sinne der **Diabetischen Neuropathischen Osteoarthropathie (DNOAP)**. In der Folge können sich sekundäre Infektionen bilden und ausbreiten [10].

Nur wenige Diabetiker können über einen längeren Zeitraum eine qualitativ gute Stoffwechsellage mit Blutzuckerwerten unter 140 mg/dl (entsprechend einem HbA1c unter 6,8%) beibehalten, um die Progredienz der diabetischen Organopathien hinauszuzögern.

Typisches Beispiel als Ausdruck eines Diabetischen Fußsyndroms ist das Malum perforans pedis, eine - bedingt durch die Neuropathie - schmerzlose Geschwürbildung. Die motorische Innervationsstörung führt zu einer Muskelatrophie und Verkürzung der Fußinnenmuskulatur (intrinsische Muskulatur) mit Ausbildung von Zehendeformitäten (Hammer- bzw. Krallenzehen). Die Weichgewebepolster werden durch Reduzierung der Muskelmasse vermindert. Die Zehen können durch die muskuläre Dysbalance zugunsten der Zehenstrecker den Bodenkontakt verlieren und in den Metatarsophalangealgelenken luxieren. Entscheidend ist dabei eine Verschiebung der plantaren Hauptbelastungszonen mit einer unphysiologisch hohen punktuellen Druckbelastung im Bereich der Metatarsalköpfchen, so dass hier Läsionen im Sinne eines Malum perforans begünstigt werden [5]. Die Behandlung einer solchen Wunde ist äußerst schwierig und meistens sehr langwierig, wobei die Größe des Ulkus und wiederum die Höhe des plantaren Druckes einen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Abheilung nimmt [1].

Gerade dann ist die Gefahr einer Superinfektion im Sinne einer mikrobakteriellen Besiedlung besonders hoch und erfordert lokale Wundbehandlung mit antibiotischen und chirurgischen Maßnahmen [13]. Eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit, bei der Spezialisten aus Bakteriologie, Angiologie und Diabetologie gefordert sind, ist notwendig [23]. Ist ein Diabetisches Fußsyndrom entstanden, so sind speziell

Ischämie im Verlauf der pAVK und eine rasch progrediente Infektion für den Verlust einer Extremität verantwortlich. Auch wurde festgestellt, dass Diabetiker mit Fußulzera eine erhöhte Mortalität aufweisen [10].



Abb. 1a: Beispiel eines Malum perforans pedis beidseits im Bereich des Fußballens. Am rechten Fuß wurde bereits ein Strahl amputiert.



Abb.: 1b: Beispiel eines Malum perforans pedis am Großzeh links

2.4 Physiologie des Gehens

2.4.1 Gangzyklus

Das Gehen ist das Resultat aus einem komplexen Zusammenspiel des Bewegungsapparates, also dem Skelettsystem mit seinen Anteilen bestehend aus Knochen, Gelenken, Sehnen, Bändern, der dazu gehörigen Muskulatur und des steuernden Nervensystems. Der Gangzyklus ist die Grundeinheit des Geh-Aktes und umfasst den ganzen Doppelschritt, der durch den Zeitraum zwischen zwei Fersenauftritten des selben Fußes definiert ist. Er wird in Stand – und Schwungphase unterteilt [15].

Die Standphase lässt sich in 3 Abschnitte unterteilen:

- 1.Phase : vom Fersenkontakt bis zur Berührung des Bodens durch den Vorfußballen und damit dem vollen Sohlenkontakt (Dauer ca. 12%)
- 2.Phase : während dem vollen Sohlenkontakt bis zum Abheben der Ferse (Dauer ca. 41%)
- 3.Phase : vom Abheben der Ferse bis zum Abheben der Zehen vom Boden (Dauer ca. 47%)

Die Schwungphase ist in 4 Abschnitte unterteilt.

1. Erste Doppelbelastung: vom Fersenauftritt bis zum Zehenabheben der Gegenseite (Dauer ca.10-15%)
2. Einzelbelastung (stance phase): vom Zehenabheben bis zum Fersen - auftritt der Gegenseite, entspricht der Schwungphase der Gegenseite (Dauer ca.35-40%)
3. Zweite Doppelbelastung : vom Fersenauftritt bis zum Zehenabheben der gleichen Seite (Dauer ca.10-15%)
4. Schwungphase (swing phase): vom Zehenabheben bis zum Fersenauftritt der gleichen Seite (Dauer ca.35-40%)

Insgesamt beträgt die Standphase ca. 60 – 65 %, die Schwungphase etwa 35 – 40 % des gesamten Gangzyklus. Die Variabilität ergibt sich aus den individuellen Ganggewohnheiten.



Abb. 2: Stand- und Schwungphase während des Gangzyklus

Während des gesamten Gangzyklus erfolgen Bewegungen in den Gelenken des Fußes [15].

Als Ausdruck der Komplexität des muskulären Zusammenspiels zeigt das folgende Myokinesigramm allein die phasische Aktivität der Einzelmuskeln der unteren Extremität während eines Gangzyklus.

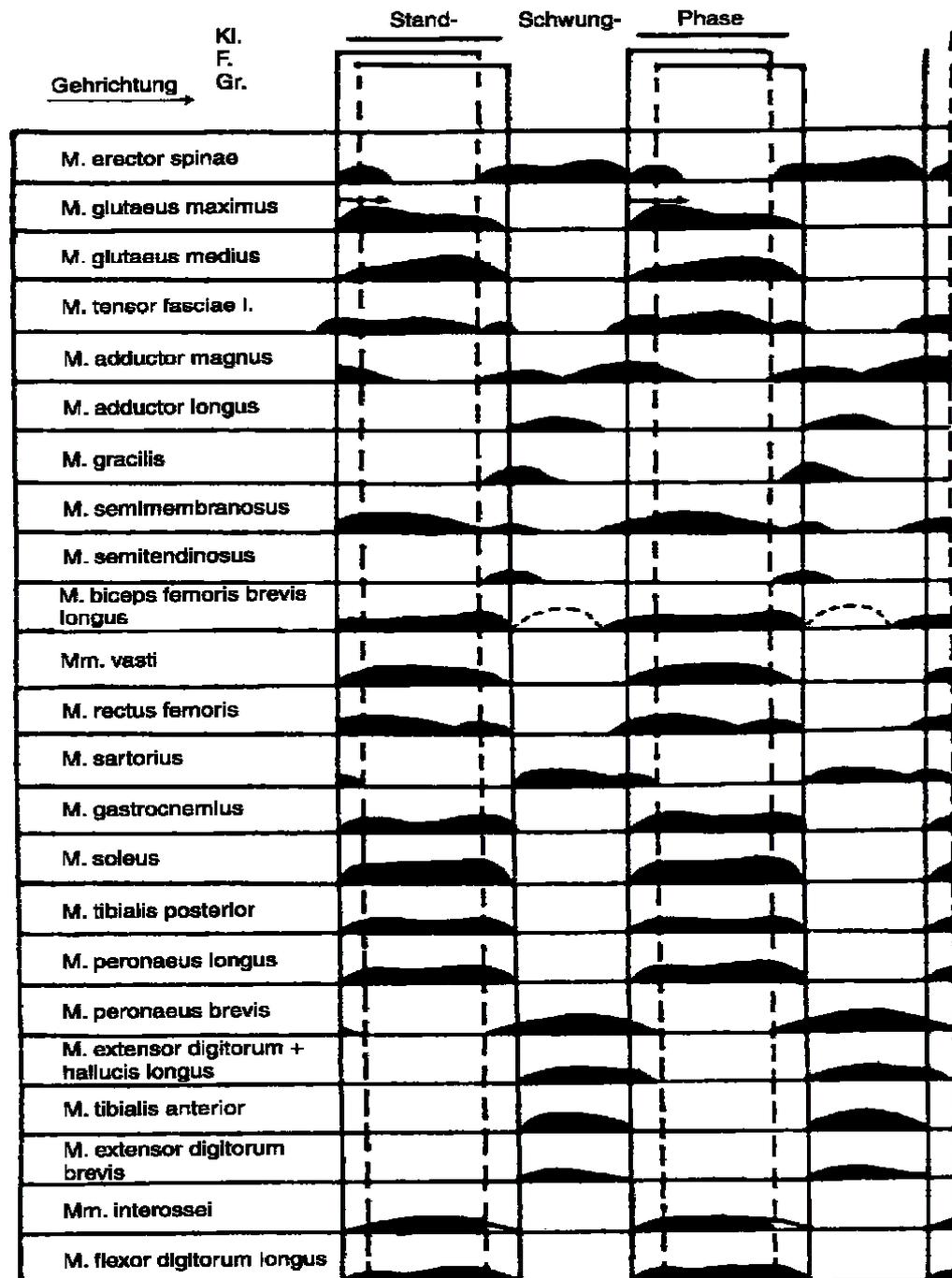


Abb. 3: Myokinesigramm der unteren Extremität (aus Debrunner / Jacob [15] Biomechanik des Fußes 2.Auflage 1998)

2.4.2 Der plantare Fußdruck

Die Druckverteilung unter der Fußsohle ist wesentlich abhängig von der Anatomie des Fußes. Die stärker beanspruchte Haut ist unter der Fußsohle durch eine dickere Hornschicht gekennzeichnet. Unter Belastung wird diese z.B. im Bereich des Tuber calcanei bis auf die Hälfte ihrer Dicke zusammengepresst. Die Subkutanschicht ist stärker ausgeprägt und von Bindegewebssepten durchzogen, die für zusätzliche Stabilität sorgen, da diese von Faszien ausgehend eine feste Verbindung zur Skelettunterlage herstellen. Innerhalb dieser Bindegewebssepten befindet sich Fettgewebe, das durch diese kammerartige Struktur in der Lage ist, Druckunterschiede elastisch abzufangen ohne dabei die Verbindung von Skelettsystem und Auftrittsfläche zu verlieren.

Diese Druckkammerstruktur verteilt den hohen Druck, der durch die relativ kleine Tragefläche der Metatarsalen und des Kalkaneus bedingt ist, auf eine größere Sohlenfläche. Verschmälert sich diese subkutane Schicht, steigt damit auch lokal der Druck im betroffenen Bereich. Ist der Druck zu hoch, können Druckgeschwüre entstehen, wobei eine bestimmte Druck-Zeit-Relation notwendig ist. In der folgenden Abbildung erkennt man die von Kosiak bzw. von Reswick und Rogers [15] angenommene Dosis - Wirkungsbeziehung zwischen Höhe des kontinuierlich einwirkenden Druckes in N/cm^2 und der Einwirkungsdauer in Stunden. Demnach ergeben sich oberhalb der eingezeichneten Kurven Druck - Zeit - Verhältnisse, welche die Gefahr der Ulzeration und Nekrose bedingen.

Die Mikrozirkulation im Bereich der Subkutis vermindert sich. Verhornungsstörungen des Plattenepithels verursachen eine Dickenzunahme der Hornhautschicht. Ein Dauerdruck von mehr als 2 N/cm^2 an der Fußsohle ruft eine Ischämie und damit eine Gefahr der Nekrose hervor. Prävention und Heilung erfordern die Entlastung der lokalen Druckmaxima.

Fußdeformitäten sowie Gelenkfehlstellungen im Skelettsystem haben ebenfalls einen Einfluss.

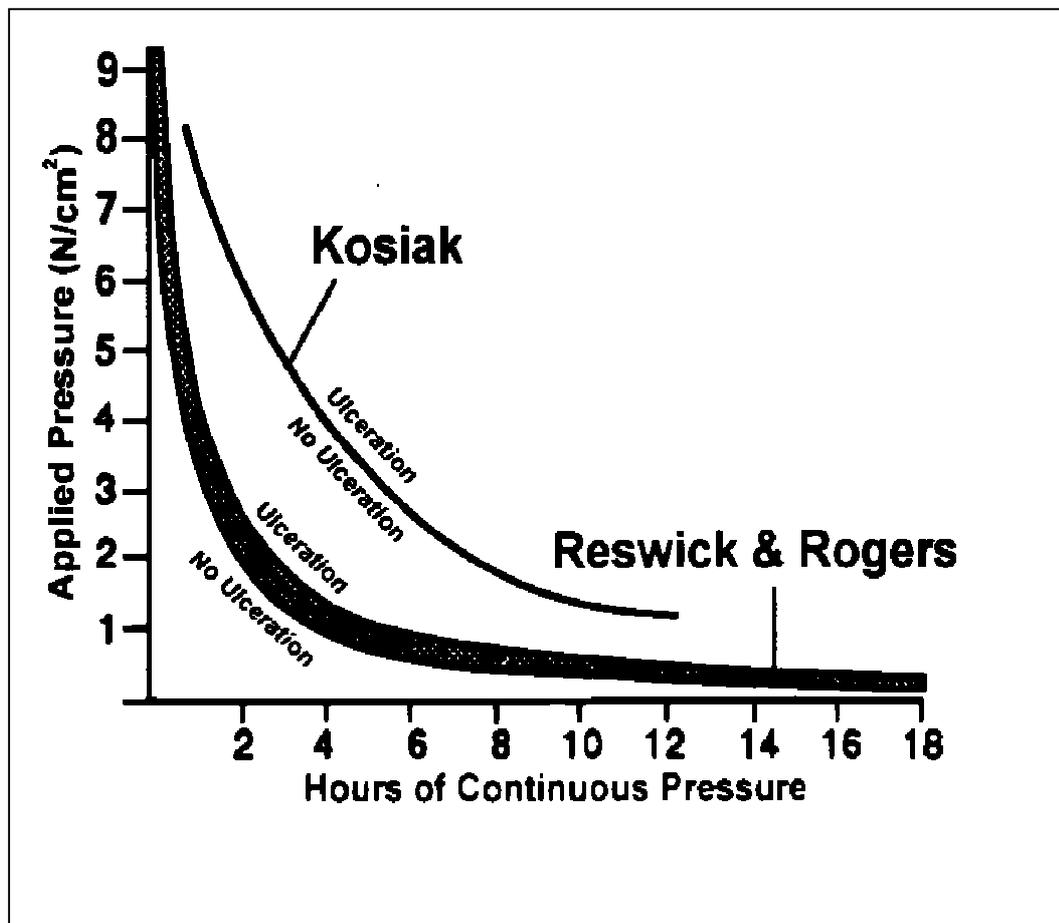


Abb. 4: Druck-Zeit -Toleranz der Haut [15] in Abhängigkeit von der Zeit.
Oberhalb der Kurven entsteht Ischämie und Nekrose.

2.4.3 Der Spitzendruck (Maximaldruck, Max. pressure picture, MPP)

Der Spitzendruck gibt den Maximalwert des Druckes an, der in einer Region des Fußes während der gesamten Ganguntersuchung gemessen wurde. Die Einheit ist Newton pro cm^2 (N/cm^2). Die folgende Abbildung zeigt, dass der Maximaldruck unabhängig von der Zeit den beim Auftritt des Fußes am größten erzielten Wert darstellt. Er ist in dieser Untersuchung der wichtigste Parameter bezüglich seiner Veränderung bei Belastung bzw. Entlastung. Sein Einfluss auf die Entstehung von Ulzerationen und sogar auf die Dauer der Abheilungszeit ist bekannt [1] und Gegenstand vieler Untersuchungen.

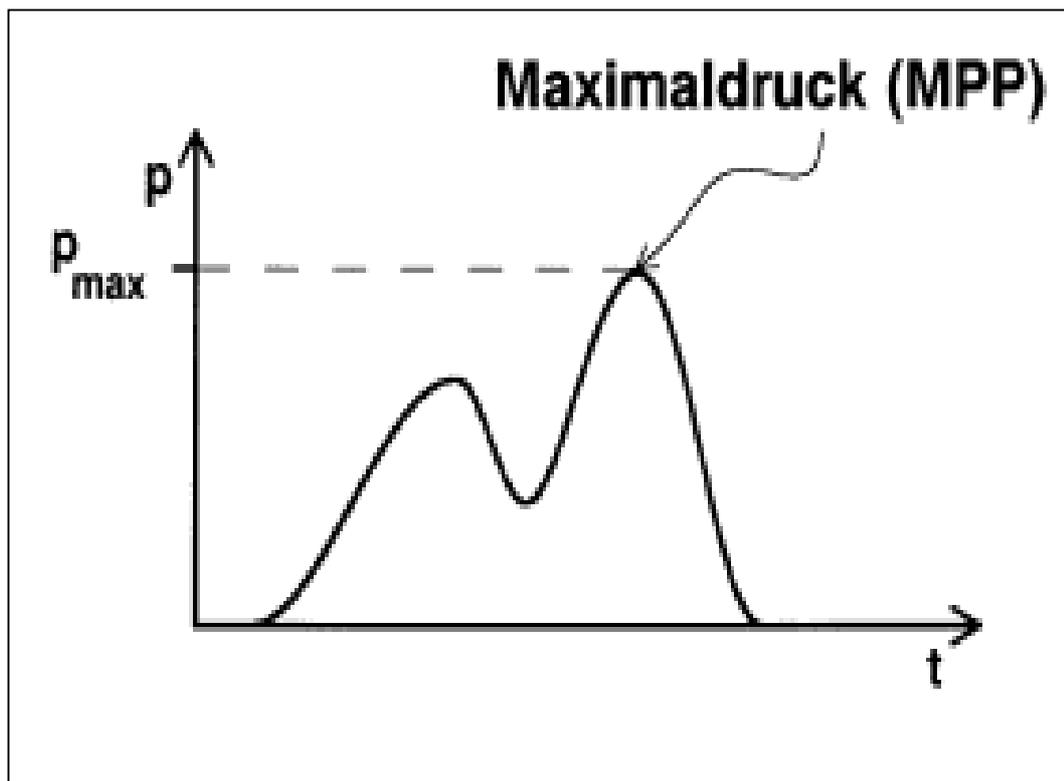


Abb. 5 : Graphische Darstellung des Spitzendrucks

2.5 Meßsystem

Die Messungen des plantaren Fußdruckes wurden mit dem PEDAR™ Meßsystems der Firma NOVEL, München durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein kapazitives Meßsystem, welches eine dynamische Druckverteilungsmessung (Pedobarographie) des Abrollvorganges ermöglicht.



Abb. 6: PEDAR™ -System FA. NOVEL, München

In eine Messsohle von 2,6 mm Dicke sind 99 kapazitive Messelemente eingebaut, die in Zeitintervallen von 20 msec die Druckverteilung unter der Fußsohle während des Abrollvorganges messen. Die Druckwerte können mit einem Darstellungsprogramm sichtbar gemacht und ausgedruckt werden. Auftretender hoher Druck wird gegenüber dem Normaldruck (in abnehmender Reihenfolge) durch eine abgestufte Farbskala dargestellt, wobei Druckspitzen mit violett und rot, mittlere Drücke in gelb, grün und hellblau, normale Drücke in blau und schwarz markiert werden. Zusätzlich können die Druckwerte auch als Zahlenangaben in die Darstellung integriert werden. In Bereichen, wo

keine messbare Belastung stattgefunden hat, bleiben die Sensoren weiß. Die Sensoren werden mit einer Frequenz von 50 Hertz ausgelesen. Der Messbereich liegt zwischen 1 - 124 N/cm² . Die Genauigkeit der Messung liegt bei ± 5 % (Herstellerangabe).

Das Pedar™ -System lässt sich über eine RS 232 Schnittstelle an einen PC anschließen, im vorliegenden Fall mit einem 166 MHz Pentium® Prozessor und Windows `98 als Betriebssystem.

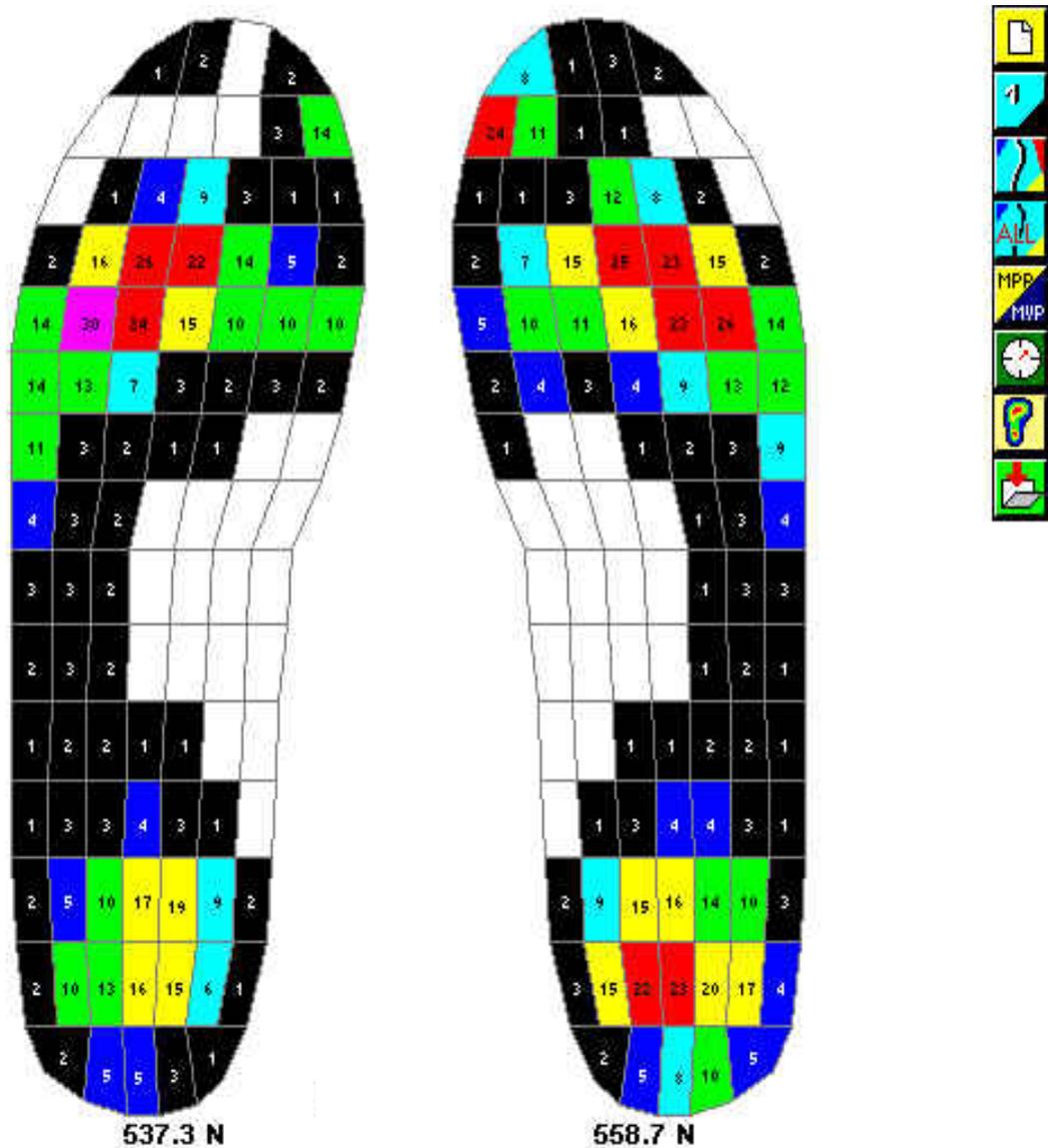


Abb. 7: Darstellung der Druckverteilung anhand von Farben und der entsprechenden Zahlenangaben

Die Messsohlen werden vor jeder Messung kontrolliert und weiterhin durch ein Eichgerät der gleichen Firma in regelmäßigen Abständen kalibriert, um mögliche Beschädigungen zu erkennen und die Messgenauigkeit zu gewährleisten.

3 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die Patienten bzw. Probanden dieser Studie beschrieben und die benötigten Materialien aufgeführt. Anschließend werden die Versuchsabläufe erklärt.

3.1 Patienten und Probanden

Zwischen Januar 2001 und Juli 2001 wurden 5 Diabetiker, in deren Anamnese weder eine Neuropathie, noch eine Ulkuserkrankung diabetischen Ursprungs vorkam, vermessen. Im gleichen Zeitraum wurden 5 Nichtdiabetiker ebenfalls vermessen. Alle Probanden wurden nach einer klinischen Untersuchung als teilnahmefähig eingestuft.

Das Durchschnittsalter aller Teilnehmer lag bei 51 (± 21) Jahren. Die Körpergröße lag im Mittel bei 176,0 (± 12) cm. Das Gewicht betrug durchschnittlich 77,1 ($\pm 13,9$) kg. Bei den Diabetikern waren 2 Personen als NIDDM Typ II a (normal bis untergewichtig) und 2 Personen als NIDDM Typ II b (übergewichtig) einzustufen. Ein Diabetiker gehörte zum IDDM Typ I (juveniler Diabetes).

| Pat.-Nr. | Alter | Geschlecht | Größe | Gewicht | Diabetiker |
|-----------|-------|------------|--------|---------|------------|
| | [a] | | [cm] | [kg] | |
| 1 | 72 | m | 179 | 89 | Typ II |
| 2 | 56 | m | 180 | 83 | nein |
| 3 | 52 | m | 173 | 73 | Typ II |
| 4 | 34 | m | 175 | 73 | nein |
| 5 | 72 | m | 176 | 75 | Typ I |
| 6 | 60 | m | 170 | 91 | Typ II |
| 7 | 35 | w | 174 | 64 | nein |
| 8 | 26 | m | 188 | 81 | nein |
| 9 | 31 | m | 178 | 75 | nein |
| 10 | 72 | w | 167 | 67 | Typ I |
| \bar{X} | 51 | | 176 | 77,1 | |

Tab. 2: Patientendaten

3.2 Ausschlusskriterien

Patienten mit Neuropathie und /oder Ulkus in der Vorgeschichte nahmen an dieser Studie nicht teil. Weiterhin musste das Gangbild regelmäßig und sicher sein. Keiner der Patienten durfte auf orthopädische Hilfsmittel angewiesen sein. Die Patienten mussten in der Lage sein, die Gewichtsweste problemlos zu tragen.

3.3 Schuhwerk

Alle Messungen wurden mit einem einheitlichen, in der Schuhgröße passenden Schuh der Marke Finn Comfort mit einer Korkeinlage durchgeführt. Der Schuh musste bequem passen und normal fest anliegen. Beim Anziehen des Schuhs wurde auf den korrekten Sitz der Messsohle geachtet.

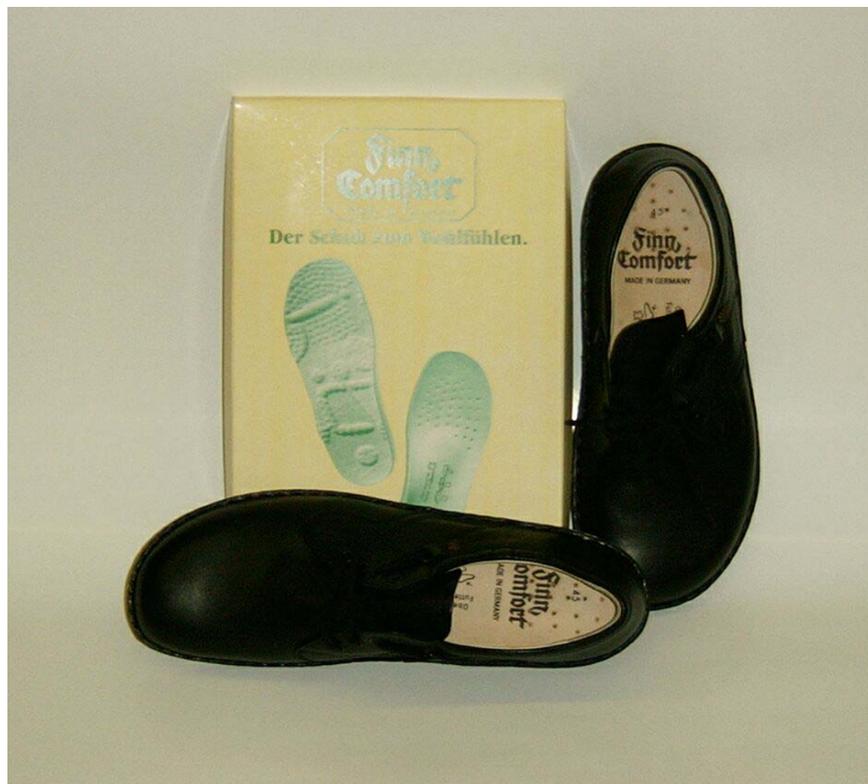


Abb. 8: Einheitlicher Schuh Finn Comfort mit Korkeinlage

3.4 Gewichtssimulation

3.4.1 Simulierte Gewichtszunahme

Die Gewichtszunahme erfolgte durch das Anlegen einer Gewichtsweste mit mehreren Taschen, in denen verteilt sich insgesamt 10 Eisengewichte mit 2 kg Masse befanden. Durch die Anordnung der Taschen war die Massenverteilung der Gewichte um den Rumpf herum problemlos zu vollziehen. Die Gewichtsweste wurde anschließend mit Klettverschlüssen am Körper eng anliegend fixiert, um mögliche Pendelbewegungen zu unterbinden. Allen Probanden war aufgrund Ihrer körperlichen Verfassung ein Tragen dieser Gewichtsweste problemlos möglich.



Abb. 9: Simulierte Gewichtszunahme mit einer Gewichtsweste

3.4.2. Eigengewicht

Die Messungen mit dem Eigengewicht des Probanden wurde ohne eine zusätzliche Maßnahme mit dem Meßsystem vorgenommen.

3.4.3 Simulierte Gewichtsentlastung

Für die Simulation der Gewichtsentlastung stand eine Deckenschiene mit einer Länge von 6 Metern, bekannt aus der Extensionsbehandlung von Skoliosepatienten der Orthopädie, zur Verfügung[26]. Über einen daran befindlichen Schlitten mit Flaschenzug wurde die Gewichtsentlastung von 20 kg eingestellt. Über eine bis zu 30 kg tragende Feder wurde eine angefertigtes Spielkreuz in T-Form eingehängt. Durch die Feder wurden auftretende Schwingungen des Schlittens weitgehend vermieden und somit ein gleichmäßiger Rollvorgang ermöglicht. Das Spielkreuz hat 3 Befestigungspunkte, an denen eine modifizierte Rettungs- und Bergungsweste über in der Länge einstellbare Tragegurte angebracht wurde. Ein am Aufhängepunkt befindlicher Schieber ermöglicht ein genaues Ausbalancieren für die Körperschwerpunktermittlung.

Die Aufhängepunkte befinden sich jeweils in der linken bzw. rechten Medioclavicularlinie und dorsal in der Medianlinie. Der Verschluss der Weste erfolgt mittels Zuggurtung an beiden Oberschenkeln in Höhe des Trochanter major und ventral in Höhe des Sternums. Der Sitz der Weste ermöglicht eine uneingeschränkte Bewegungsfreiheit, wodurch es keinen nennbaren Einfluss auf das Gangbild gab.

Das nachfolgende Bild zeigt die modifizierte Rettungsweste, hängend an der Extensionsschiene. Zu erkennen sind im oberen Bereich die Federelemente zur Verminderung der Resonanzschwingung, an der das Spielkreuz mit freier Rotationsmöglichkeit befestigt ist. Daran befestigt befinden sich die stufenlos einstellbaren Tragegurte.

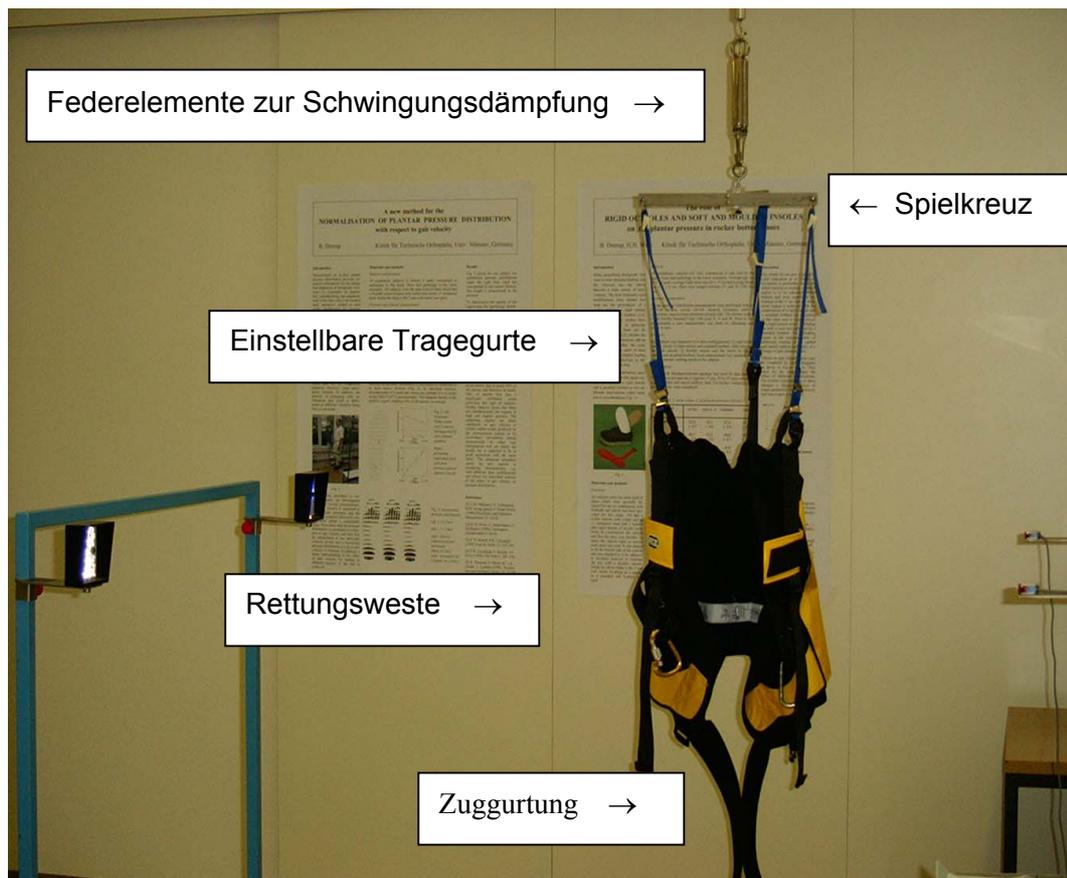


Abb. 10: modifizierte Rettungs- und Bergungsweste

3.4.4. Vorversuch L.A.S.A.R.- posture

Bei der vorgesehenen Art und Weise der Gewichtssimulation durch Belastung mit einer Gewichtsweste und der Entlastung durch die Mechanik eines Flaschenzuges entwickelte sich die Problematik einer möglichen Veränderung des Körperschwerpunktes aufgrund der Massenwirkung der angreifenden Kräfte. In bezug auf die Gewichtsentlastung wurde dem Rechnung getragen durch die Einstellmöglichkeit und Fixierung des Spielkreuzes, das einen gleichmäßigen Zug gewährleistete. Bei der Gewichtsweste ermöglichten die verschiedenen Taschen und die Aufteilung des Gewichtes in 10 mal 2 kg Einheiten eine angepasste Gewichtsverteilung. Für die Überprüfung der Versuchsanordnung wurde im Vorfeld die Körperschwerpunktbestimmung mit dem L.A.S.A.R. - posture (Laser assisted static alignment reference) der Fa. Otto Bock durchgeführt.

Hierbei handelt es sich um eine Kraftmessplattform mit Laseranzeige, welche die vertikale Komponente der Bodenreaktionskraft, die auf die Kraftmessplatte wirkt, anzeigt. Somit wird im beidbeinigen Stand auf der Kraftmessplatte das Patientengewicht sowie die Position der Schwerelinie ermittelt [6].



Abb. 11: L.A.S.A.R.- Posture Plattform mit Messeinheit

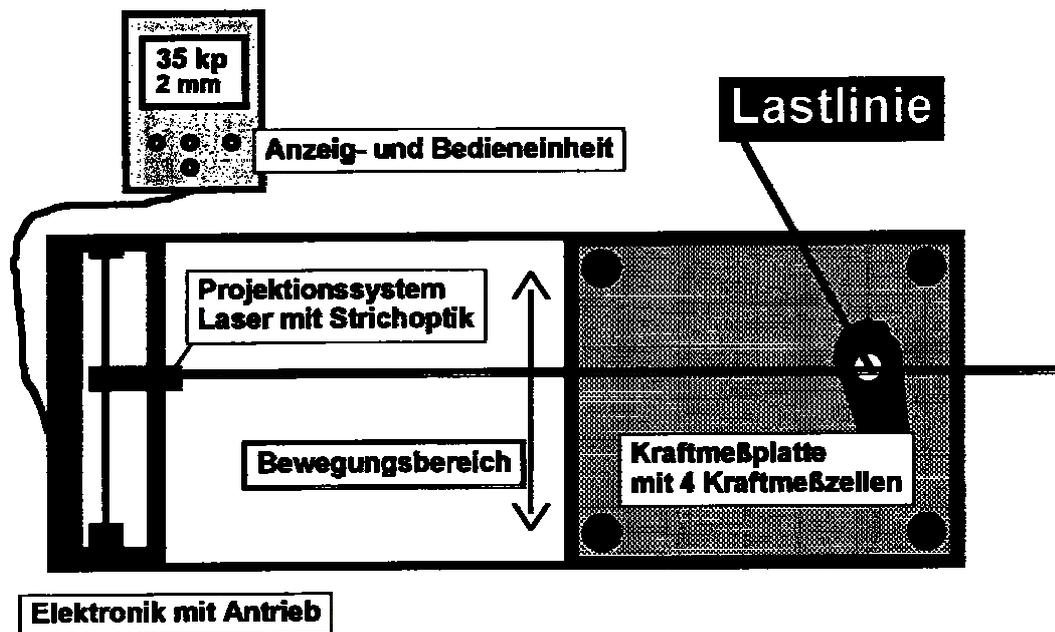
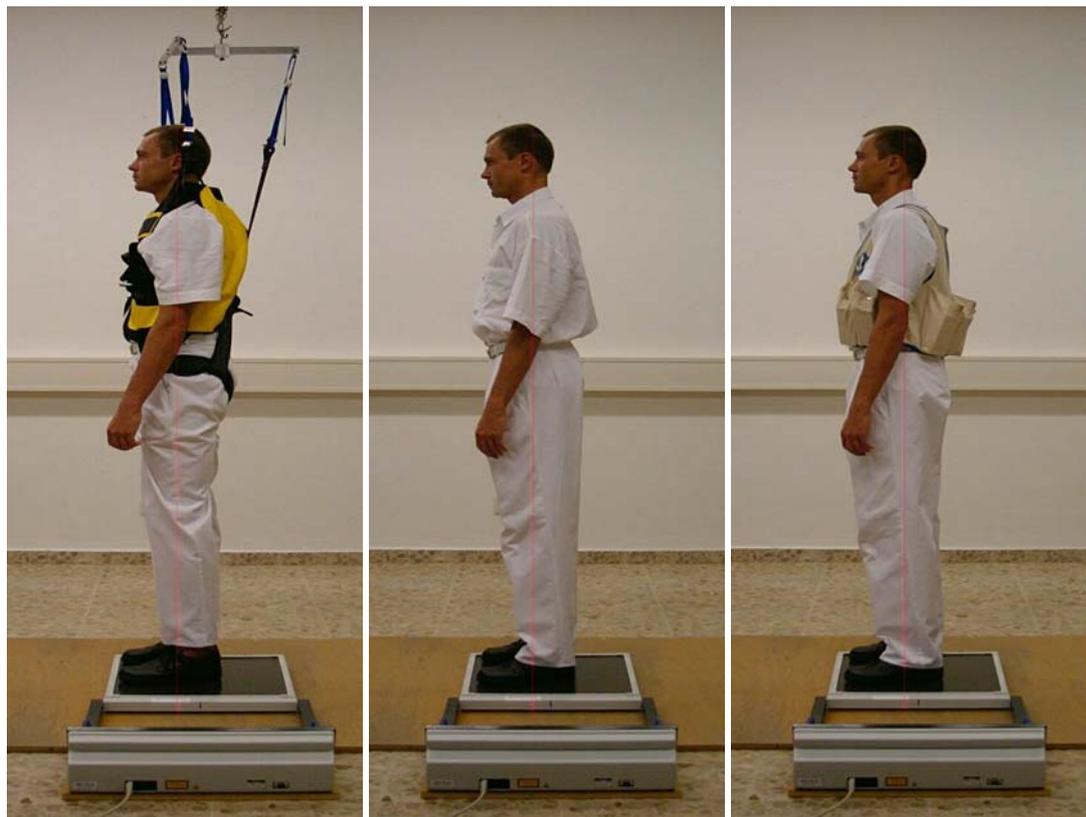


Abb. 12: Schematischer Aufbau des L.A.S.A.R.- Posture [6]

Während einer Messdauer von 20 Sekunden werden der Kraftangriffspunkt und der Betrag der Bodenreaktionskraft gemessen. Die nachfolgenden Bilder zeigen die durch den Laser markierte Schwerelinie bei Entlastung (a), Eigengewicht (b) und Belastung (c). Es zeigt sich, dass in allen drei Messzuständen ein übereinstimmender Körperschwerpunkt, welcher die Voraussetzung einer Vergleichbarkeit der durchzuführenden Messungen darstellt, vorhanden ist.



a) Entlastung

b) Eigengewicht

c) Belastung

Abb. 13: Vorversuch mit dem L.A.S.A.R. – Posture :

Die rote Linie kennzeichnet die Lage des Körperschwerpunktes

3.5 Messprotokoll

Die Probanden wurden mit einem einheitlichen Schuh (Fa. Finn Comfort) in der passenden Größe mit der dazugehörigen standardmäßigen Kork-einlage versorgt. Der Schuh sollte bequem sitzen, jedoch fest anliegen. Beim Anziehen der Schuhe wurde darauf geachtet, dass die Messsohle fixiert war und sich nicht während des Einsteigens innerhalb des Schuhs verschieben konnte. Zu jeder Schuhgröße stehen entsprechend große Messsohlen (gekennzeichnet mit W, X, Y) zur Verfügung, welche die Schuhgrößen 40 – 45 abdecken. Alle Probanden konnten mit einem ihrer Schuhgröße entsprechenden Paar dieser drei Messsohlen versorgt und gemessen werden.

Die Messstrecke war eine 6 Meter lange Gangbahn aus 20 mm starken Holzplanken, die eben und ungefedert auf gefliestem Boden lagen. Im mittleren Abschnitt war eine Geschwindigkeitsmessanlage vom Typ Musclelab™ der Fa. Ergotest Technologie mit zwei Lichtschranken installiert, um die Ganggeschwindigkeit zu registrieren.

Vor dem Beginn der eigentlichen Messungen hatte der Proband Zeit, sich den Gegebenheiten der Laufstrecke anzupassen, sich mit den unterschiedlichen Gewichtszuständen lange genug vertraut zu machen und diese auszuprobieren.

Zu Beginn einer jeden Messung wurde durch das Heben des linken und anschließend des rechten Fußes vom Boden der Ausgangswert 0 N/cm^2 der Messsohlen eingestellt. Mit Beginn des ersten Schrittes wurde die Messung gestartet und vor Ende des letzten Schrittes beendet und aufgezeichnet. Somit lag die Anlauf – bzw. Abstopphase nicht mit im Messvorgang. Zusätzlich wurde der erste und letzte Schritt einer Messung nicht berücksichtigt und gelöscht, um Beschleunigungs- bzw. Verzögerungseffekte zu eliminieren. Nach Ende einer jeden Messung wurden die ermittelten Daten entsprechend ihrer Zuordnung abgespeichert. Danach konnte die Messung nach dem beschriebenen Procedere mit der Erstellung des Nullwertes erneut gestartet werden.

3.6 Auswertung der Messungen

Alle zehn Probanden konnten in die Auswertung einbezogen werden. Die Auswertung bezog sich auf die Messungen mit einer Gewichtsentlastung von 20 kg, dem Eigengewicht des Probanden und einer Gewichtsbelastung von 20 kg. Es wurde die für den Probanden normale Gehgeschwindigkeit für die Auswertung genommen. Bei einem Probanden konnte die Messung mit der Entlastung von 20 kg nicht ausgewertet werden. Stattdessen wurde eine zusätzliche Messung mit einer Entlastung von 10 kg in die Auswertung mit einbezogen und auf eine Entlastung von 20 kg extrapoliert.

Die Werte einer Messung, bestehend aus den Einzelschritten des linken bzw. rechten Fußes wurden mittels des von der Fa. Novel zur Auswertung mitgelieferten Programms *Pedar-c emedlink* erstellt.

In der folgenden Abbildung ist die Benutzeroberfläche des Auswertungsprogramm dargestellt. Im oberen Feld erscheinen die Daten der Umrechnung der PEDAR – Druckverteilung in ein quadratisches Druckverteilungsmuster als Vorbereitung der Transformation in sogenannte ASCII –Daten.

Das untere Fenster zeigt den zeitlichen Verlauf der Normalkraft des linken bzw. rechten Fußes.

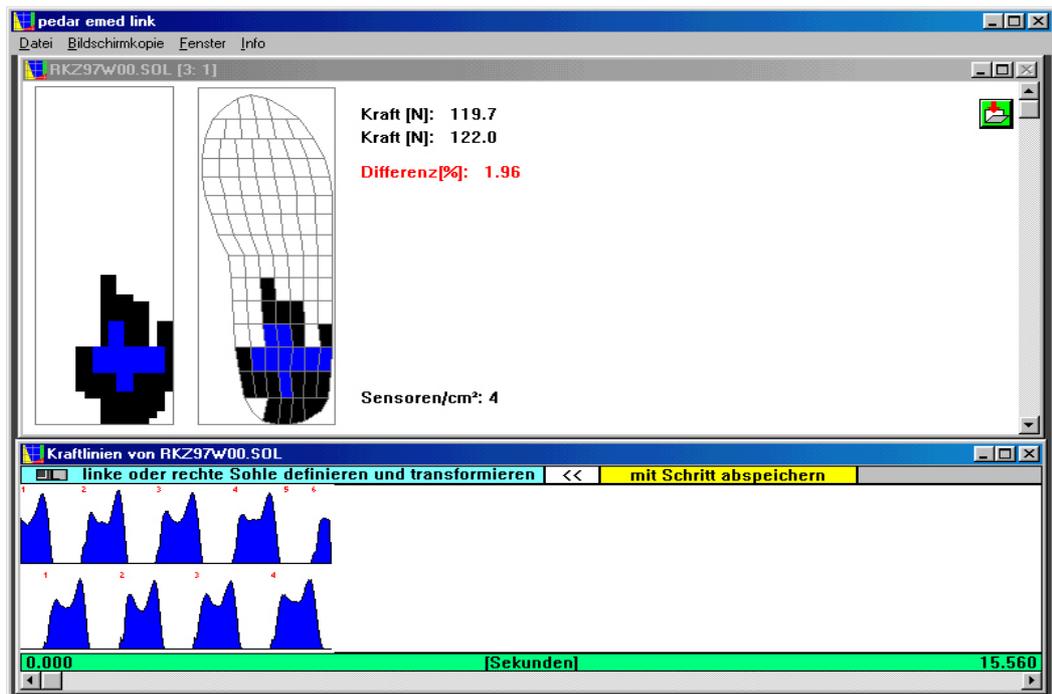


Abb. 14: Pedar-c emed link

Im Verlauf der weiteren Auswertung wurden verschiedene Mittelwerte und Standardabweichungen mit dem Programm *AVERAGE* berechnet. Hierbei wird eine Durchschnittsdruckverteilung vom gesamten dynamischen Abrollvorgang erzeugt.

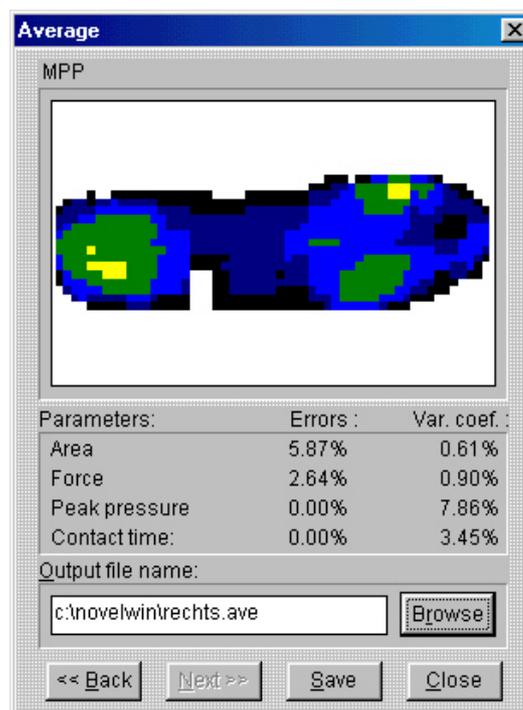


Abb. 15: NovelOrtho – average

Die in einer Druckverteilungsmessung enthaltene Fülle von Einzeldaten wird für die einfachere Analyse erheblich reduziert, und zwar durch die Verwendung sogenannter Masken, die den Einzelschritt in 6 verschiedene, einzeln zu betrachtende Regionen der Fußsohle einteilt.

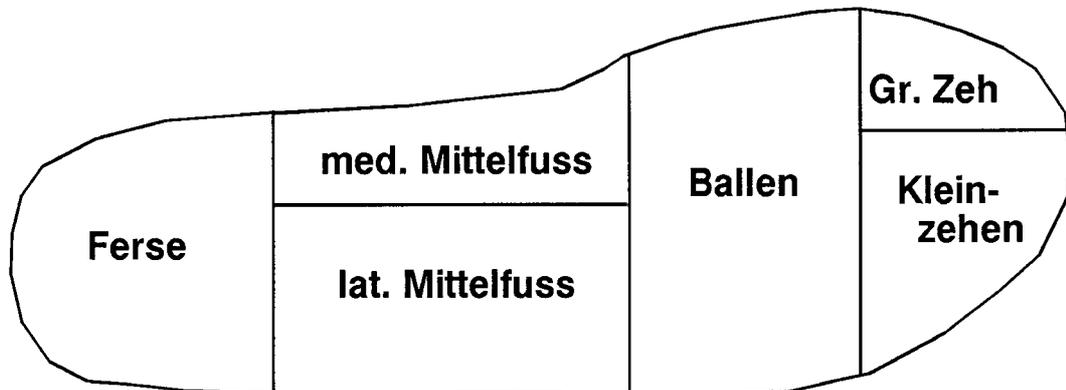


Abb. 16: Einteilung der Fußsohle mit einer Maske in Regionen

Die verschiedenen Regionen der Maske werden in dem Auswertungsprogramm mit M1 bis M6 benannt, wobei die anatomischen Zonen der Fußsohle folgendermaßen aufgeschlüsselt sind :

- M 1 = 2.-5. Zeh
- M 2 = großer Zeh
- M 3 = Fußballen
- M 4 = lateraler Fußrand
- M 5 = medialer Fußrand
- M 6 = Ferse

Mit dem Programmmodul *Multimask evaluation* können neben dem Spitzendruck und dem mittleren Druck die Kraft - Zeit - Integrale für die verschiedenen Fußregionen berechnet werden. Im folgenden werden jedoch nur die Spitzendrücke und das Kraft - Zeit - Integral berücksichtigt.

4 Ergebnisse

Die Einzelergebnisse der Messungen des Spitzendrucks sind in den folgenden Tabellen, getrennt nach Fußregionen, dargestellt. Die Fußregionen sind entsprechend der Maske mit M1 – M6 gekennzeichnet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen stehen jeweils am unteren Ende einer Spalte. Die Tabellen sind getrennt nach Diabetikern (Pat.Nr.1, 3, 5, 6, 10) und der Kontrollgruppe (Probanden 2, 4, 7, 8, 9) aufgezeichnet. Die gemessenen Spitzendrücke sind in N [Newton = $\frac{kg \cdot m}{s^2}$] pro cm^2 angegeben. Bei den Tabellen 10 und 11 ist zusätzlich die ermittelte Differenz zwischen dem aufgetretenen Spitzendruck bei Eigengewicht und mit Zusatzgewicht bzw. bei Entlastung in Prozent dargestellt.

4.1 Entlastung

Die Entlastung mit 20 kg für die Patienten bzw. Probanden – aufgeschlüsselt nach Fußregionen - hat folgende Mittelwerte (siehe Tab.3) ergeben. Die Berechnung der Mittelwerte erfolgte jeweils über drei Messungen mit der normalen Gehgeschwindigkeit der Person.

| Patient | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| 1 | 18,50 | 27,00 | 15,50 | 7,00 | 5,50 | 17,50 |
| 3 | 15,50 | 9,50 | 15,00 | 6,50 | 5,00 | 13,00 |
| 5 | 9,00 | 9,00 | 18,50 | 9,00 | 6,00 | 9,50 |
| 6 | 16,50 | 17,50 | 17,00 | 9,50 | 6,50 | 11,50 |
| 10 | 19,50 | 18,50 | 19,50 | 6,50 | 4,00 | 12,50 |
| \bar{X} | 16,20 | 16,30 | 17,10 | 7,70 | 5,40 | 12,80 |
| SD | ± 5,0 | ± 7,5 | ± 4,1 | ± 2,0 | ± 2,4 | ± 1,5 |

Tab. 3: Mittelwerte des Spitzendrucks bei den Diabetikern in den Fußregionen M1-M6 (Entlastung 20 kg)

| Proband | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| 2 | 18,00 | 18,50 | 24,00 | 8,50 | 6,50 | 20,50 |
| 4 | 13,50 | 22,50 | 22,50 | 8,00 | 4,50 | 18,50 |
| 7 | 11,50 | 21,00 | 13,50 | 6,50 | 5,50 | 12,50 |
| 8 | 17,00 | 30,00 | 28,50 | 7,50 | 4,50 | 13,50 |
| 9 | 17,00 | 32,00 | 13,50 | 6,50 | 6,00 | 15,00 |
| \bar{X} | 15,40 | 24,80 | 20,40 | 7,40 | 5,40 | 16,00 |
| SD | ± 2,8 | ± 5,9 | ± 6,7 | ± 0,9 | ± 0,9 | ± 3,4 |

Tab. 4: Mittelwerte des Spitzendrucks bei den Nichtdiabetikern in den Fußregionen M1- M6 (Entlastung 20 kg)

4.2 Eigengewicht

Die Messungen mit dem Eigengewicht, d.h. ohne Zusatzgewicht und ohne Entlastung, hat folgende Werte ergeben.

| Patient | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| 1 | 20,00 | 35,00 | 20,50 | 13,50 | 10,00 | 20,50 |
| 3 | 10,50 | 16,50 | 23,50 | 11,00 | 10,00 | 16,00 |
| 5 | 16,50 | 32,00 | 18,00 | 11,50 | 10,00 | 15,00 |
| 6 | 23,50 | 22,00 | 26,50 | 11,50 | 10,00 | 14,50 |
| 10 | 18,00 | 24,50 | 28,00 | 8,50 | 3,00 | 18,50 |
| \bar{X} | 17,70 | 26,00 | 23,30 | 11,20 | 8,60 | 16,90 |
| SD | ± 4,8 | ± 7,5 | ± 4,1 | ± 1,8 | ± 3,1 | ± 2,5 |

Tab. 5: Messwerte des Spitzendrucks bei den Diabetikern in den Fußregionen M1-M6 (Eigengewicht)

| Proband | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| 2 | 17,50 | 17,50 | 41,50 | 10,50 | 9,50 | 16,50 |
| 4 | 12,50 | 18,00 | 23,00 | 11,00 | 8,50 | 18,50 |
| 7 | 17,50 | 22,50 | 20,00 | 11,50 | 10,00 | 14,50 |
| 8 | 19,00 | 33,50 | 39,50 | 10,50 | 5,50 | 15,50 |
| 9 | 16,00 | 34,50 | 20,50 | 12,00 | 10,00 | 17,00 |
| \bar{X} | 16,50 | 25,20 | 28,90 | 11,10 | 8,70 | 16,40 |
| SD | ± 2,5 | ± 8,2 | ± 10,7 | ± 0,7 | ± 1,9 | ± 1,5 |

Tab. 6: Messwerte des Spitzendrucks bei den Nichtdiabetikern in den Fußregionen M1-M6 (Eigengewicht)

4.3 Belastung

Die Messungen mit einem Zusatzgewicht von 20 kg hat folgende Messwerte ergeben.

| Patient | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| 1 | 15,00 | 30,00 | 25,50 | 13,50 | 8,50 | 25,00 |
| 3 | 21,00 | 18,50 | 28,00 | 11,50 | 9,00 | 18,50 |
| 5 | 18,00 | 17,50 | 20,00 | 11,50 | 9,00 | 15,00 |
| 6 | 31,50 | 24,50 | 32,00 | 13,50 | 11,00 | 18,00 |
| 10 | 31,50 | 27,00 | 32,50 | 12,50 | 8,00 | 21,00 |
| \bar{X} | 23,40 | 23,50 | 27,60 | 12,50 | 9,10 | 19,50 |
| SD | ± 7,7 | ± 5,4 | ± 5,1 | ± 1,0 | ± 1,1 | ± 3,7 |

Tab. 7: Messwerte des Spitzendrucks bei den Diabetikern in den Fußregionen M1-M6 (Zusatzgewicht 20 kg)

| Proband | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| 2 | 26,00 | 23,00 | 49,50 | 12,00 | 10,50 | 19,00 |
| 4 | 11,00 | 23,50 | 28,50 | 13,00 | 10,00 | 24,00 |
| 7 | 17,50 | 32,50 | 25,50 | 12,50 | 10,50 | 17,00 |
| 8 | 24,50 | 37,00 | 48,50 | 9,00 | 6,00 | 18,50 |
| 9 | 19,50 | 44,50 | 25,00 | 13,50 | 12,00 | 19,50 |
| \bar{X} | 19,70 | 32,10 | 35,40 | 12,00 | 9,80 | 19,60 |
| SD | ± 5,9 | ± 9,1 | ± 12,5 | ± 1,8 | ± 2,2 | ± 2,6 |

Tab. 8: Messwerte des Spitzendrucks bei den Nichtdiabetikern in den Fußregionen M1-M6 (Zusatzgewicht 20 kg)

Die Werte der durchgeführten Messungen wurden zur weiteren Bearbeitung in Excel – Dateien übertragen und geprüft.

4.4 Ergebnisse im Bereich der Ulkusprädektionsstellen M2, M3, M6

4.4.1 Entlastung

Bei den Patienten Nr. 1, 3, 5, 6, und 10 handelt es sich um die Gruppe der Diabetiker (siehe Tab. 2). In der getrennten Auswertung ist sowohl für Diabetiker als auch Nichtdiabetiker zu erkennen, dass bei einer Entlastung von 20 kg in allen durch die Maske beschriebenen Regionen im Mittel eine Verminderung des plantaren Spitzendrucks erfolgt ist. In Tabelle 9 sind die Daten für die Ballenregion (M3) aus Tabelle 3 und 4 gegeneinandergestellt und in der letzten Spalte ist die Differenz der Spitzendruckwerte in % des Spitzendrucks beim Eigengewicht aufgelistet. Im paarweisen Vergleich zeigt sich ein signifikanter Unterschied mit $p = 0,03$. Im Bereich der Ferse (M6) ist er sogar hochsignifikant mit $p = 0,01$.

| Patient | Entlastung -20kg | Eigengewicht | |
|-----------|----------------------|----------------------|-------------|
| | [N/cm ²] | [N/cm ²] | % |
| 1 | 15,50 | 20,50 | -24,39 |
| 3 | 15,00 | 23,50 | -36,17 |
| 5 | 18,50 | 18,00 | 2,78 |
| 6 | 17,00 | 26,50 | -34,85 |
| 10 | 19,50 | 28,00 | -30,36 |
| \bar{X} | 17,10 | 23,30 | -24,80 |
| SD | $\pm 2,1$ | $\pm 4,1$ | $\pm 16,15$ |

Tab. 9: Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Diabetikern mit Entlastung (-20kg). \bar{X} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Durch die Entlastung verringerte sich der Spitzendruck unter den Metatarsalen M3 (Fußballen) um durchschnittlich 24,8%.

Bei den Nichtdiabetikern ergaben sich bei den zuvor beschriebenen Bereichen folgende Messwerte. Unter der Großzehe (M2) betrug die Verringerung im Mittel $0,4 \pm 3,2 \text{ N/cm}^2$, unter dem Fußballen (M3) $8,5 \pm 6,3 \text{ N/cm}^2$ und an der Ferse (M6) $0,4 \pm 2,6 \text{ N/cm}^2$.

| Proband | Entlastung -20kg | Eigengewicht | |
|-----------|----------------------|----------------------|------------|
| | [N/cm ²] | [N/cm ²] | % |
| 2 | 24,00 | 41,50 | -42,17 |
| 4 | 22,50 | 23,00 | -2,17 |
| 7 | 13,50 | 20,00 | -32,50 |
| 8 | 28,50 | 39,50 | -27,85 |
| 9 | 13,50 | 20,50 | -34,15 |
| \bar{X} | 20,40 | 28,90 | -27,77 |
| SD | $\pm 6,7$ | $\pm 10,7$ | $\pm 15,2$ |

Tab. 10: Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Nichtdiabetikern mit Belastung (+20kg), \bar{X} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Im Bereich des Fußballens lag somit durchschnittlich eine Verminderung des Spitzendrucks um 27,8 % vor. Der paarweise Vergleich war hier ebenfalls signifikant mit einem $p = 0,04$.

Im gesamten Kollektiv ergab sich somit eine Verminderung des plantaren Spitzendrucks im Bereich des Fußballens (M3) um 25,5 % bei einer Gewichtsreduktion um 20 kg.

4.4.2 Belastung

Die Ergebnisse des Spitzendrucks der Belastung mit einem Gewicht von 20 kg im Bereich des Fußballens (M3) gegenüber dem Eigengewicht wird in Tab. 11 dargestellt. Bei den Diabetikern ergab sich im Mittel ein erhöhter Spitzendruck von $3,4 \pm 1,4$ N/cm². Im paarweisen t-Test war diese Erhöhung im Vergleich zum Spitzendruck bei Eigengewicht bei M3 mit $p = 0,002$ hochsignifikant. Bei der Ferse (M6) erhöhte sich der Spitzendruck um $2,6 \pm 1,7$ N/cm². Im Vergleich zum Spitzendruck bei Eigengewicht war das Ergebnis im t - Test mit $p = 0,03$ signifikant erhöht.

| Patient: | Normal | Belast. +20kg | Differenz |
|-----------|----------------------|----------------------|-----------|
| | [N/cm ²] | [N/cm ²] | % |
| 1 | 20,50 | 25,50 | 24,39 |
| 3 | 23,50 | 28,00 | 19,15 |
| 5 | 18,00 | 20,00 | 11,11 |
| 6 | 26,50 | 32,00 | 20,75 |
| 10 | 28,00 | 32,50 | 16,07 |
| \bar{X} | 23,30 | 27,60 | 18,30 |
| SD | $\pm 4,1$ | $\pm 5,1$ | $\pm 5,0$ |

Tab. 11: Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Diabetikern mit Belastung (+20kg). \bar{X} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Im Bereich des Fußballens lag somit durchschnittlich eine Erhöhung des Spitzendrucks um 18,3 % vor.

Bei den Nichtdiabetikern erhöhte sich der Spitzendruck im Mittel um $6,9 \pm 2,9$ N/cm² unter der Großzehe (M2), im Bereich des Fußballens (M3) um $6,5 \pm 1,9$ N/cm² und unter der Ferse (M6) $3,2 \pm 1,3$ N/cm².

| Proband | Normal | Belast. +20kg | Differenz |
|-----------|----------------------|----------------------|-----------|
| | [N/cm ²] | [N/cm ²] | % |
| 2 | 41,50 | 49,50 | 19,28 |
| 4 | 23,00 | 28,50 | 23,91 |
| 7 | 20,00 | 25,50 | 27,50 |
| 8 | 39,50 | 48,50 | 22,78 |
| 9 | 20,50 | 25,00 | 21,95 |
| \bar{X} | 28,90 | 35,40 | 23,09 |
| SD | $\pm 10,7$ | $\pm 12,5$ | $\pm 3,0$ |

Tab. 12: Vergleich der Messwerte im Bereich M3 (Fußballen) bei Nichtdiabetikern mit Belastung (+20kg). \bar{X} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Im Bereich des Fußballens (M3) ergab sich durchschnittlich eine Erhöhung des Spitzendrucks um 23,1 %.

Im gesamten Kollektiv ergab sich somit eine Erhöhung des plantaren Spitzendrucks im Bereich des Fußballens (M3) um 20,7 % bei einer Gewichtszunahme um 20 kg.

4.5 Kraft-Zeit-Integral

Das Kraft-Zeit-Integral ist die Summe aller Kraftmesswerte, also aller Produkte aus Druck und Fläche der einzelnen Sensoren, während einer Standphase. Üblicherweise wurden mehrere Standphasen gemessen, dann wurde hierüber der Mittelwert gebildet. Er ist identisch mit dem Produkt aus der Dosis des einwirkenden Drucks bei einem Schrittzzyklus und der Fläche der jeweiligen Fußregion. Im Kraft-Zeit-Integral sollten sich die simulierten Gewichtszustände in Form von Zu- bzw. Abnahme des Wertes gegenüber dem des Eigengewichts entsprechend der veränderten Masse verschieben.

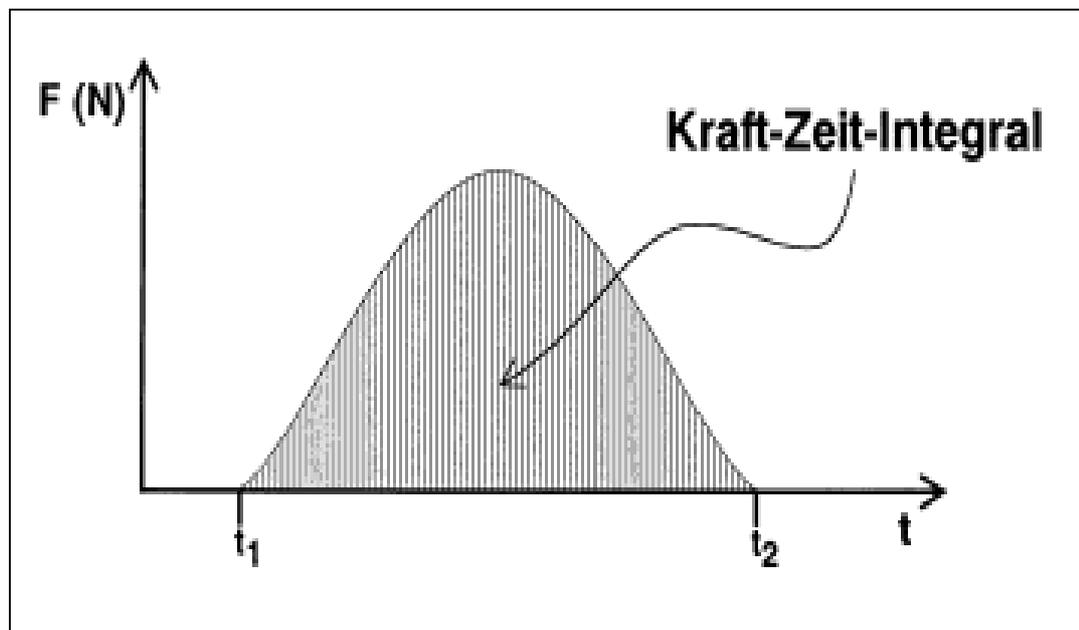


Abb. 17: Darstellung des Kraft-Zeit-Integral.

Die folgenden Tabellen zeigen die Werte des Kraft-Zeit-Integrals bei den Diabetikern und der Kontrollgruppe.

| Diabetiker | Entlast.-20 kg | normal | Belast.-20 kg |
|------------|----------------|---------|---------------|
| Patient | N*/s | N*/s | N*/s |
| 1 | 733,70 | 1018,60 | 1173,50 |
| 3 | 548,10 | 805,90 | 920,50 |
| 5 | 570,90 | 800,60 | 948,80 |
| 6 | 787,20 | 995,30 | 1164,60 |
| 10 | 543,90 | 598,30 | 884,50 |
| \bar{X} | 636,76 | 843,74 | 1018,38 |
| SD | 114,95 | 171,08 | 139,45 |

Tab. 13: Werte der Berechnung des Kraft-Zeit-Integrals bei Diabetikern (N* = Newton)

| Nichtdiab. | Entlast.-20 kg | normal | Belast.-20 kg |
|------------|----------------|---------|---------------|
| Proband | N*/s | N*/s | N*/s |
| 2 | 852,20 | 1128,00 | 1432,70 |
| 4 | 632,90 | 706,00 | 949,70 |
| 7 | 449,90 | 657,50 | 901,50 |
| 8 | 718,80 | 847,40 | 1189,60 |
| 9 | 732,00 | 870,80 | 1139,70 |
| \bar{X} | 677,16 | 841,94 | 1122,64 |
| SD | 149,15 | 183,84 | 211,97 |

Tab. 14: Werte der Berechnung des Kraft-Zeit-Integrals bei Nichtdiabetikern
(N* = Newton)

Diese Zahlen entsprechen im Rahmen des statistischen Fehlers den Erwartungswerten.

5 Diskussion

5.1 Wiederholbarkeit der Ergebnisse

Ausgehend von den Ergebnissen von Cavanagh [9] und Schaff [21], welche gezeigt haben, dass sich statistisch kein Zusammenhang zwischen Körpergewicht und plantaren Spitzendruck nachweisen lässt, (Korrelationskoeffizient $r = 0,37$ für Diabetiker bzw. $r = 0,36$ für Nichtdiabetiker), ist diese Studie sowohl eine Überprüfung wie auch eine Erweiterung dieser Untersuchungen, da die Messungen anders als bei Cavanagh oder Schaff nicht mit einer Druckplattform, sondern mit Messsohlen gemacht wurden, konnten hier mit den PEDAR – Insoles nachvollzogen werden. Es wurden bei Diabetikern und Nichtdiabetikern die Spitzendrücke ermittelt und mit dem Körpergewicht in Beziehung gesetzt. Die Graphik in Abb. 18 zeigt die unter dem Fußballen (M3) gemessenen Spitzendrücke bei Diabetikern und Nichtdiabetikern, aufgetragen gegen das Körpergewicht.

Bei einem Korrelationskoeffizienten mit dem Wert $r = 0,39$ zeigt sich eine Übereinstimmung mit Cavanagh, also ebenfalls keine Korrelation zwischen diesen beiden Messgrößen. Das bedeutet, dass die Ausgangslage hier die Gleiche ist wie bei Cavanagh : Das Körpergewicht lässt keine Aussage über den zu erwartenden Spitzendruck zu.

Die von Cavanagh als funktionell schwache Beziehung zwischen Körpergewicht und Spitzendruck [9] bezeichneten Ergebnisse, welche mit der EMED - Plattform und ohne Gewichtssimulation erzielt wurden, sind auch mit den PEDAR - Insoles nachvollziehbar. Es wurden bei Diabetikern und Nichtdiabetikern die Spitzendrücke ermittelt und mit dem Körpergewicht in Beziehung gesetzt. Die Graphik in Abb. 18 zeigt die unter dem Fußballen (M3) gemessenen Spitzendrücke bei Diabetikern und Nichtdiabetikern, aufgetragen gegen das Körpergewicht.

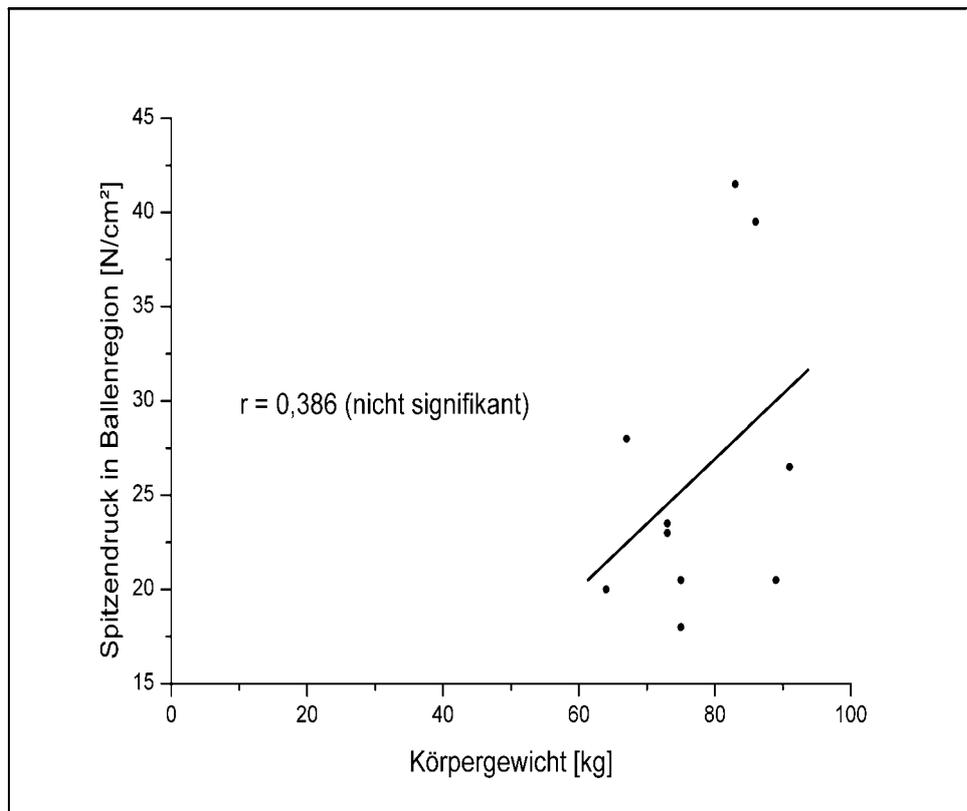


Abb.18 : Spitzendruck und Eigengewicht korrelieren nicht ($r = 0,39$)

Die sich daran anschließende Frage ist, ob eine Änderung des Körpergewichts eine Aussage über die zu erwartende Änderung des Spitzendrucks zulässt. Die oben aufgezeichneten Messergebnisse geben einen Überblick über das Verteilungsmuster der Spitzendruckwerte in den beschriebenen Fußregionen bei Eigengewicht und den simulierten Gewichtsbelastungen mit einem Zusatzgewicht von 20 kg und einer Entlastung von 20 kg. Auf diese Weise wird eine Längsschnittuntersuchung bezüglich Gewichtsveränderung simuliert – eine solche Untersuchung wäre ansonsten in einer Klinik kaum durchführbar. Als Resultat zeigt die simulierte Längsschnittuntersuchung eine messbare Beziehung zwischen Gewichtszunahme und Zunahme des Spitzendrucks bzw. Gewichtsabnahme und Verminderung des Spitzendrucks. Diese Simulation soll Aufschluss über einen Effekt durch Erhöhung des Körpergewichts geben und den daraus möglichen resultierenden Rückschluss bei Reduzierung des Gewichtes. Das Ergebnis ist eine

signifikante Verminderung des Spitzendrucks und damit auch des Ulzerationsrisikos bei Diabetikern, wenn Gewicht reduziert wird.

Es stellt sich aber auch die Frage nach der Vergleichbarkeit einer solchen Simulation mit einer realen Gewichtszunahme bzw. Gewichtsabnahme und den damit verbundenen konstitutionellen Veränderungen, die im Körper und speziell an den Füßen zu verzeichnen sind, wenn sich Körperfettanteil und Verteilungsmuster ändern. Die Simulation liefert eine Antwort auf das Verhalten bei kurzfristiger Gewichtsveränderung, nicht aber bei langfristiger, nahrungsbedingter Gewichtsveränderung.

Zu bedenken wären hinsichtlich einer nutritiven Gewichtszunahme, welche vornehmlich durch eine Zunahme des subkutanen Fettgewebes gekennzeichnet ist, ob sich eine solche Zunahme des Fettpolsters auch an der Fußsohle wiederfindet und unter Umständen dort dämpfende Wirkung auf den Spitzendruck entfaltet, also als Puffer wirken könnte. Andererseits könnte mit einer Reduzierung des Körperfetts, insbesondere an der Fußsohle, diese Pufferwirkung geringer sein und als Schutz vor hohen Spitzendrücken entfallen.

Zu berücksichtigen sind auch mögliche Balancierbewegungen, welche aufgrund der kurzfristigen künstlichen Gewichtssimulation auftreten können.

Insgesamt ist dem vom Diabetischen Fußsyndrom betroffenen Patienten wie auch allen anderen Diabetikern aufgrund dieser Resultate eine Gewichtsreduktion anzuraten.

5.2 Spitzendrücke

5.2.1 Spitzendrücke bei Eigengewicht

Die Spitzendruckwerte der Kontrollgruppe bei den Messungen mit Eigengewicht bewegten sich in einer Spannbreite von $8,7 \pm 1,9$ N/cm² als Minimum im Bereich M5 (med. Fußrand) bis hin zum Maximum im Bereich M3 (Fußballen) mit $28,9 \pm 10,7$ N/cm². In der Gruppe der Diabetiker betrug der Spitzendruck minimal $8,6 \pm 3,1$ N/cm² im Bereich M5 (med. Fußrand) bis maximal $26,0 \pm 7,5$ N/cm² im Bereich M2 (Großzeh).

Das Säulendiagramm in Abb.19 zeigt die bei den Messungen der Fußregionen erzielten Mittelwerte des Maximaldrucks im Vergleich. Der auffälligste Unterschied zwischen Diabetikern und Nichtdiabetikern ist in der Ballenregion (M3) zu erkennen. Er beträgt $5,6$ N/cm² und erweist sich im ungepaarten t – Test mit $p = 0,31$ als nicht signifikant.

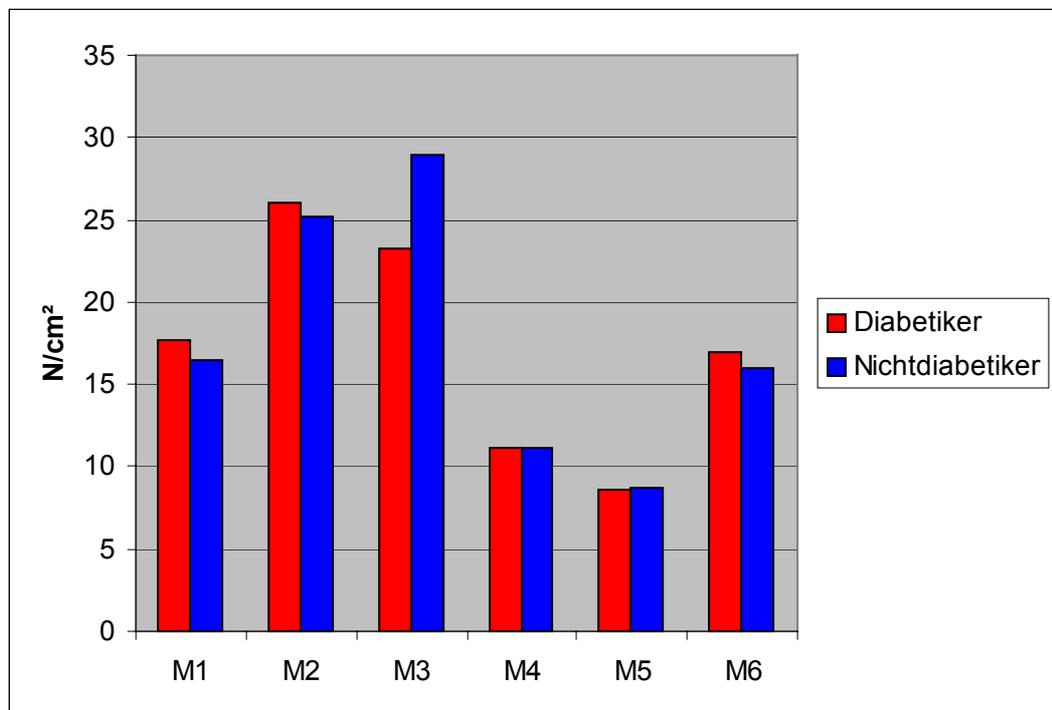


Abb.19: Vergleich Diabetiker – Nichtdiabetiker beim Spitzendruck in den Fußregionen M1 – M6

Die numerischen Spitzendruckwerte in den verschiedenen Fußregionen decken sich mit den Werten von Drerup [11], die von einer Studie an einem Kontrollkollektiv stammen. An 10 fußgesunden Probanden wurden mit dem selben Schuhmaterial und einer Korkeinlage Fußdruckmessungen mit dem PEDAR™ -System durchgeführt. Hier lagen die Spitzendruckwerte bei $23,4 \pm 5,5 \text{ N/cm}^2$ (M2), $23,5 \pm 5,5 \text{ N/cm}^2$ (M3) und $9,0 \pm 2,1 \text{ N/cm}^2$ (M5).

5.2.2 Spitzendrücke bei Simulation

5.2.2.1 Belastung

Bei simulierter Gewichtszunahme nimmt der Spitzendruck zu. Bei der simulierten Belastung mit 20 kg lagen die Spitzendrücke der Kontrollgruppe zwischen $9,8 \pm 2,3 \text{ N/cm}^2$ im Bereich M5 bis maximal $32,1 \pm 9,1 \text{ N/cm}^2$ bei M2, was eine Erhöhung um $29,2 \pm 12,2 \%$ entspricht. Bei den Diabetikern betrug der Spitzendruck bei Belastung minimal $9,1 \pm 1,1 \text{ N/cm}^2$ im Bereich M5 (med. Fußrand) bis maximal $27,6 \pm 5,1 \text{ N/cm}^2$ im Bereich M3 (Fußballen). Die relativ größte Erhöhung des Spitzendrucks erfolgte im Bereich der 2.-5. Zehen (M1) mit $38,6 \pm 50,1 \%$. Das Säulendiagramm in Abb.20 zeigt die Druckverteilung der verschiedenen Fußregionen im Vergleich beider Gruppen. Unterschiede sind in den Regionen M1, M2 und M3 zu erkennen - die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant. Die gegenüber der Kontrollgruppe erhöhten Werte im Zehenbereich und erniedrigten Werte im Ballenbereich könnten Zeichen einer bereits beginnenden neuropathischen Störung sein. Durch eine Veränderung im Gangmuster verschiebt sich die Belastung von den Ballen zu den Zehen.

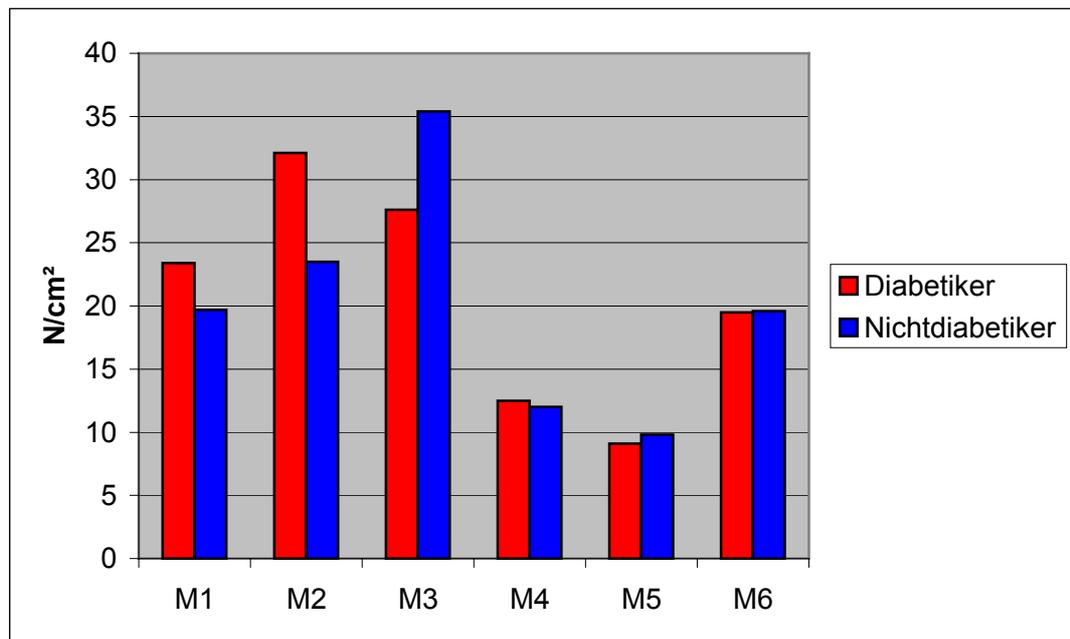


Abb.20: Druckverteilung bei simulierter Belastung bei Diabetikern gegenüber Nichtdiabetikern

Die Gewichtszunahme von 20 kg bedeutete durchschnittlich eine Erhöhung des Körpergewichts um 25,7% bei den Diabetikern und 26,5% bei den Nichtdiabetikern. In der Tendenz war dieser Prozentwert insbesondere unter dem Fußballen (M3) wiederzufinden.

5.2.2.2 Entlastung

Bei simulierter Entlastung nimmt der Spitzendruck ab. Die Spitzendruckwerte der Kontrollgruppe bei einer simulierten Entlastung von 20 kg bewegten sich in einer Spannbreite von $5,4 \pm 0,9$ N/cm² als Minimum im Bereich M5 (med. Fußrand) bis hin zum Maximum im Bereich M2 (Großzeh) mit $24,8 \pm 5,9$ N/cm². Die relativ größte Verringerung des Spitzendrucks erfolgte im Bereich des lateralen Fußrandes (M5) mit $36,4 \pm 11,8$ % sowie des Fußballens (M3) mit $27,8 \pm 15,2$ %.

In der Gruppe der Diabetiker betrug der Spitzendruck bei Entlastung minimal $5,4 \pm 1,0$ N/cm² im Bereich M5 (med. Fußrand) bis maximal 17,1

$\pm 1,9 \text{ N/cm}^2$ im Bereich M3 (Fußballen). Hier lag die relativ größte Senkung des Spitzendrucks im Bereich M2 (Großzeh) mit $35,1 \pm 45,5 \%$.

Das Säulendiagramm in Abb.21 zeigt die Druckverteilung im Vergleich beider Gruppen. Zu erkennen sind im Bereich M2 (Großzeh), M3 (Fußballen) und M6 (Ferse) gegenüber den Nichtdiabetikern niedrigere Spitzendruckwerte bei den Diabetikern. Insbesondere bei M2 ist der Unterschied mit $8,2 \text{ N/cm}^2$ deutlicher, allerdings nicht signifikant ($p > 8\%$).

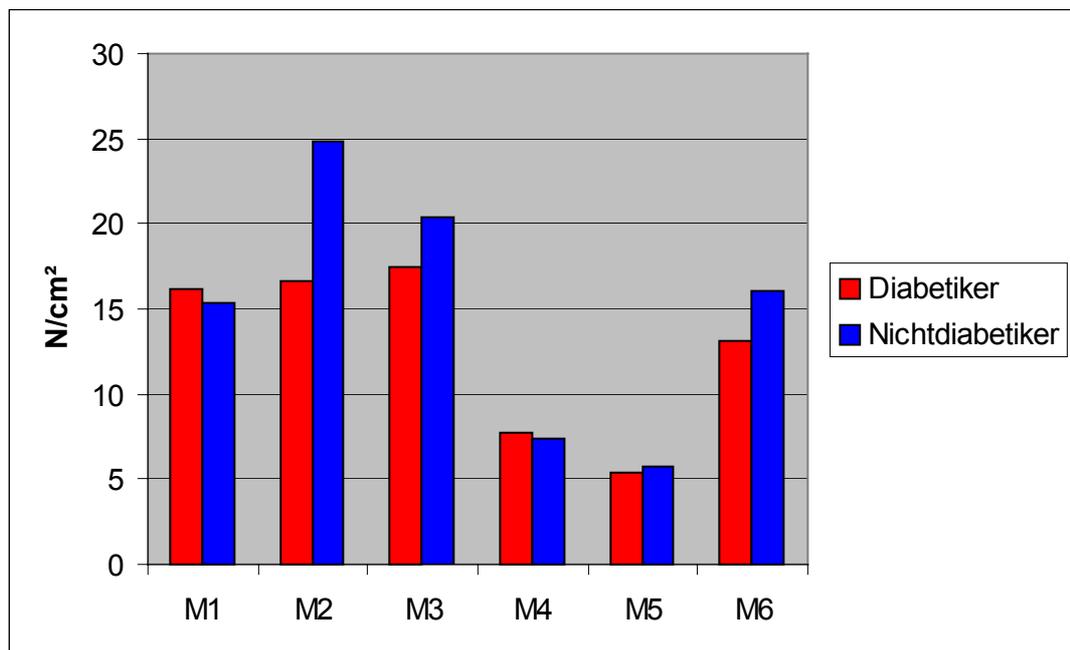


Abb.21 Druckverteilung bei simulierter Entlastung bei Diabetikern gegenüber Nichtdiabetiker

Die Gewichtsabnahme von 20 kg bedeutete durchschnittlich eine Reduktion des Körpergewichts um 25,7% bei den Diabetikern und 26,5% bei den Nichtdiabetikern. In der Tendenz war dieser Prozentwert insbesondere bei den Diabetikern in den Bereichen M2 bis M6 wiederzufinden. Bei den Nichtdiabetikern waren dies die Bereiche von M3 bis M5.

Im Vergleich zu den Effekten bei Gewichtszunahme sind die bei Gewichtsabnahme deutlicher und auf mehrere Regionen des Fußes verteilt.

5.2.2.3 Vergleich von Belastung und Entlastung

Bei gemeinsamer Betrachtung beider Gruppen in bezug auf das Verhalten des Spitzendrucks bei simulierter Entlastung und Belastung gegenüber dem Spitzendruck bei Eigengewicht zeigt sich ein fast lineares Verhalten. Der mittlere Spitzendruck beträgt 17,5 N/cm² bei Eigengewicht über dem gesamten Fuß. Bei simulierter Belastung mit zusätzlichen 20 kg steigt er im Mittel um 2,9 N/cm² auf 20,4 N/cm². Bei simulierter Entlastung mit 20 kg fällt der mittlere Spitzendruck um 4,0 N/cm² auf 13,5 N/cm².

Sowohl bei Gewichtsentlastung wie bei Zusatzbelastung zeigt der gepaarte Vergleich über alle Regionen und Versuchsteilnehmer eine signifikante Abnahme bzw. Zunahme ($p < 5\%$) des Spitzendrucks mit dem Gewicht..

5.2.2.4 Vergleich Diabetiker – Nichtdiabetiker

Die folgenden Tabellen zeigt den Vergleich der in den Fußregionen gemessenen mittleren Spitzendrücke bei Entlastung (Tab.15) und Belastung (Tab.16).

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| Diabetiker | 16,2 | 16,6 | 17,5 | 7,7 | 5,4 | 13,1 |
| Nichtdiab. | 15,4 | 24,8 | 20,4 | 7,4 | 5,7 | 16 |

Tab. 15: Mittlerer Spitzendruck bei Entlastung

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | N/cm ² |
| Diabetiker | 23,4 | 32,1 | 27,6 | 12,5 | 9,1 | 19,5 |
| Nichtdiab. | 19,7 | 23,5 | 35,4 | 12 | 9,8 | 19,6 |

Tab. 16: Mittlerer Spitzendruck bei Belastung

Aus den Mittelwerten ergeben sich folgende relative Veränderungen bezüglich des Spitzendrucks :

Bei den Diabetikern nahm bei Belastung mit 20 kg der Spitzendruck um 19,8% zu, während bei den Nichtdiabetikern eine Zunahme von 12,8% zu verzeichnen war. Bei der Entlastung war ebenfalls die relative Differenz bei den Diabetikern größer. Hier war der Spitzendruck um 35,5% gegenüber dem Eigengewicht vermindert. Bei den Nichtdiabetikern betrug der Wert 18,4%.

5.3 Fazit für die Praxis

Als Konsequenz der hier beschriebenen Untersuchung lässt sich feststellen:

Das Körpergewicht allein lässt keine Aussage zu über den zu erwartenden plantaren Spitzendruck, weder bei diabetischen Patienten noch bei fußgesunden Versuchspersonen [s.Cavanagh et al.,Schaff et al.], weder auf der Messplattform, noch im Schuh.

Kurzfristig lässt sich der Spitzendruck unter Ballen und Ferse durchaus beeinflussen. Wird ein Gewicht getragen, nimmt der Spitzendruck zu, erfolgt eine Entlastung, nimmt er ab. In den anderen Fußregionen ist der

Spitzendruck kleiner, gewichtsabhängige Änderungen des Spitzendrucks sind dann in der Regel nicht signifikant.

Eine an die individuellen Gegebenheiten angepasste Abschätzung der Entlastung erhält man durch den Vergleich von 2 pedobarographischen Messungen: mit Zusatzbelastung von 20 kg und ohne. Die Differenz liefert dann die - ohne Adaptationsprozesse - zu erwartende Entlastung bei 20 kg Gewichtsreduktion. Für den Effekt einer kurzfristigen Belastungsänderung lässt sich eine Faustformel angeben. Das Tragen einer Last von 10 kg erhöht den plantaren Spitzendruck im Schuh um ca. 3 N/cm² und 1,3 N/cm² im Ballen- bzw. Fersenbereich. Entsprechend lässt sich der Spitzendruck auch verringern.

Es ist zu vermuten, dass adaptive Prozesse auf die Druckverteilung ausgleichend wirken, dass sich also durch eine echte und langfristige Gewichtszunahme der Spitzendruck weniger stark erhöht als hier angegeben. Entsprechendes ist auch für eine echte Gewichtsabnahme zu erwarten.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Spitzendruck indirekt vom Gewicht abhängig ist. Von daher ist eine Gewichtsreduktion bei betroffenen Diabetikern in bezug auf die Gefahr der Ulkuserstehung als sinnvoll und protektiv anzusehen. Die Größe des Effekts lässt sich bei der Gewichtssteigerung abschätzen.

6 Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen Körpergewicht und dem plantarem Spitzendruck ist nur unzureichend bekannt. Bisher vorliegende Untersuchungen lassen nur eine geringfügige Zunahme des Spitzendrucks bei übergewichtigen Patienten erwarten. Es fehlen jedoch Längsschnittuntersuchungen aus denen hervorgeht, wie sich die Gewichtsänderung eines Patienten auf den Spitzendruck auswirkt. Da der plantare Spitzendruck bei der Bewertung des Ulzerationsrisikos beim Diabetiker mit DFS eine entscheidende Rolle spielt und gleichzeitig bei diesen Patienten häufig Gewichtsprobleme vorliegen, ist ein besseres Verständnis der Zusammenhänge unbedingt erforderlich.

In dieser Studie wird an 5 Diabetikern und 5 Nichtdiabetikern – alle ohne Fußdeformität oder Druckgeschwür und ohne Neuropathie – der plantare Spitzendruck bei Eigengewicht, simulierter Gewichtszunahme und Gewichtsabnahme mit jeweils 20 kg gemessen. Alle Versuchspersonen tragen gleichartiges Schuhwerk: ein einlagengerechter Bequemschuh mit der Original-Korkeinlage des Herstellers mit Fußbett. Eine Gewichtszunahme von 20 kg wird durch eine Gewichtsweste, eine Gewichtsabnahme von -20 kg durch eine an einer beweglichen Deckenschiene aufgehängte modifizierte Rettungsweste simuliert. Der plantare Fußdruck wird mit dem kapazitiven Messsystem PEDAR™ (Novel, München) gemessen und in 6 Fußregionen, darunter Ballen und Ferse, analysiert.

Zwischen beiden Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des plantaren Spitzendrucks in den 3 verschiedenen Gewichtssituationen.

In den besonders gefährdeten Fußregionen Ballen und Ferse ändert sich in beiden Kollektiven der Spitzendruck mit dem Gewicht.

Die Messergebnisse beider Kollektive erlauben eine Prognose hinsichtlich der Entwicklung des Spitzendrucks des Fußes, wenn eine Gewichtszunahme erfolgt. Insbesondere in der Region des Fußballens und der Ferse wurde bei beiden Kollektiven eine signifikante Zunahme bzw.

Abnahme des Spitzendrucks mit Veränderung des Gewichts gemessen. Der Vergleich der Messwerte des Eigengewichts mit denen der simulierten Gewichtszunahme lässt darauf schließen, dass eine tatsächliche Erhöhung des Körpergewichts sich auch in einer Zunahme des Plantaren Spitzendrucks bemerkbar macht und damit die Gefahr einer Ulkusbildung deutlich erhöht.

Umgekehrt lässt sich aus den Beobachtungen bei simulierter Gewichtsreduktion schließen, dass eine Verringerung des Körpergewichts zu einer Verringerung des Spitzendrucks führt.

Durch die simulierte Gewichtserhöhung (bzw. Gewichtsreduktion) lassen sich die Auswirkungen auf den plantaren Spitzendruck unmittelbar messen und ablesen. Dabei besteht der Vorteil, diese Messwerte an ein und den selben Patienten zeitlich sehr kurzfristig erheben zu können und auszuwerten, ohne die wohl nicht praktikable und unzumutbare natürliche Gewichtszunahme durch übermäßige Nahrungsaufnahme, wie es eine Längsschnittuntersuchung erfordern würde, durchzuführen. Die Untersuchung zeigt, dass eine Erhöhung des Körpergewichts sich auch in einer Erhöhung des Spitzendrucks bemerkbar macht und damit die Gefahr einer Ulkusbildung deutlich erhöht, besonders an den Prädilektionsstellen der Großzehe, des Fußballens und der Ferse.

Eine mögliche klinische Anwendung ist die daher die Vorhersage einer Spitzendruckentlastung durch Gewichtsreduktion[s. Abb.22].

Der Einfluss langfristiger Adaptationsprozesse kann nicht vorher gesagt werden. Für den behandelnden Arzt bedeutet dies eine neben der optimalen Blutzuckereinstellung auf die Einsicht zur Gewichtsreduktion des Patienten hinzuwirken.

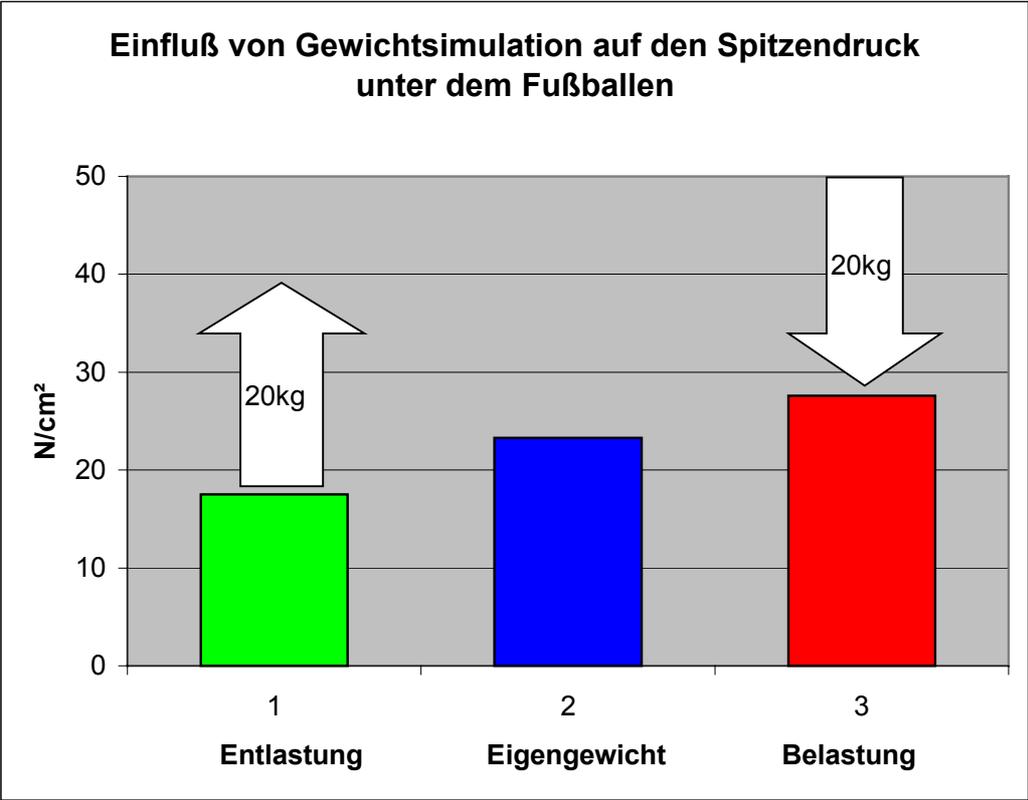


Abb.22: Auswirkung von Gewichtssimulation in M3

Literaturverzeichnis

- 1 Armstrong, David G. DPM, Lavery, Lawrence A. DPM : Is there a critical level of plantar peak pressure to identify patients at risk for neuropathic foot ulceration. In: : The Journal of Foot & Ankle Surgery 37(4): 303-307, 1998
- 2 Armstrong, David G. DPM, Lavery, Lawrence A. DPM : The Effect of Increase Weight on Peak Pressures. In: The Journal of Foot & Ankle Surgery 37(5):416-420, 1998
- 3 Armstrong, David G. DPM, Lavery, Lawrence A. DPM, MPH : Peak foot pressures influence The healingtime of diabetic foot ulcers treated with total contact casts. In: Journal of Rehabilitation Research and Development Vol. 35 No. 1, 1-5, January 1998
- 4 Armstrong, David G. DPM, Lavery, Lawrence A. DPM, MPH : Plantar Pressure are higher in Diabetic. In: Ostomy/Wound Management Vol.44, No. 3 März 1998 ; 44(3) 30-39, 1998
- 5 Balzer, K., Heidrich, M.: Diabetische Gangrän am Fuß In: Der Chirurg, 70; 831-844, 7-1999
- 6 Blumentritt, S.: Aufbau von Unterschenkelprothesen mittels „L.A.S.A.R.- Posture“. In: Sonderdruck aus Orthopädie Technik 12 / 1998
- 7 Böcker, Denk, Heitz: Pathologie Verlag Urban & Schwarzenberg 1997
- 8 Boulton AJ.: The diabetic foot. In: Med. Clin. North Am. 72(6):1513-1530, Nov. 1988
- 9 Cavanagh PR., Sims DS Jr., Sanders LJ.: Body mass is a poor predictor of peak plantar pressure in diabetic men. In: Diabetes Care 14(8), 750-755, Aug. 1991
- 10 Chantelau, E.: Zur Pathogenese der diabetischen Podopathie. In: Der Internist, 40; 994-1001, 1999
- 11 Drerup, B., Wetz, H.H. et al.: Der Einfluss der Fußbettung und Schuhzurichtung auf die plantare Druckverteilung
- 12 Duckworth T., Boulton AJM, Betts RP, Franks CI, Ward JD: Plantar pressure measurements and the prevention of ulceration in the diabetic foot. In: Journal of bone & joint surgery. Vol. 67B, 1985
- 13 Frykberg, RG.: Diabetic foot infections: evaluation and management. In: Adv Wound Care 11(7), 329-331, Nov-Dec 1998

- 14 Hasslacher C, Ritz E, Wahl P and Michael C: Similar risks of nephropathy in patients with type I or type II diabetes mellitus. *Nephrol Dial Transplant* 4: 859-863 (1989).
- 15 Jacob, A.C., Debrunner ,Hans U., *Biomechanik des Fußes*, 2. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1998
- 16 Kästenbauer, T., Sauseng, Susanna: Risikofaktoren für einen erhöhten plantaren Druck bei Typ 2 Diabetes. In: *Acta Med Austria*, Heft 5, 173-177, 1999
- 17 Landgraf, R., Hierl, F.X.: Allgemeine Therapie der Menschen mit diabetischen Fußsyndrom (DFS). In: *Der Internist*, 40; 1018-1023, 1999
- 18 Sailer, D., Schweiger, H.: *Der diabetische Fuß*. Deutscher Universitäts-Verlag 1999
- 19 Schaff, Peter S., Kirsch, D.: Dynamische Druckverteilungsmessung unter der Fußsohle. Standardisierung der Pedographie. In: *Aktuelle Endokrinologie und Stoffwechsel*, Heft 3, Band 8, 123-154, Juli 1987
- 20 Schaff, Peter S., Siebert, Werner E.: Ulkusprophylaxe am diabetischen Fuß. In: *Ost* 6 / 1988 17-23
- 21 Schaff, Peter S.: Die durchschnittliche Druckbelastung in den verschiedenen Bereichen der Fußsohle des Diabetikers. In: *Med. Orth. Tech.* 114, 30-37, 1994
- 22 Schettler, G.: *Innere Medizin*, 10. Auflage, Thieme Verlag, (Hrsg. H.Greten) 2001
- 23 Stirnemann, P., Z'Brun, A., Brunner D.: Der diabetische Fuß. In: *Ther.Umsch.* 55(10), 650- 655, Okt.1998
- 24 Trautner, C., Berger, M.: Unchanged incidence of lower-limb amputation in a German city, 1990-1998. In: *Diabetes Care*, 24 (5); 855-859, May 2001
- 25 Kosiak M.: Etiology and Pathology of Ischemic Ulcers. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 42 (1959) 62-69
- 26 Polster J, Krenz J, Brinckmann P: Praktische Erfahrungen und Kraftmessungen bei der Halo-pelvic-Distraktion. *Z. Orthop.* 114 (1976) 515-518

Danksagung

Mein besonderer Dank an:

Prof. Dr. rer. nat. B.Drerup - nicht nur für die freundliche Überlassung des Themas, sondern für all die Anregungen und das Engagement, das mich während dieser Zeit begleitet und unterstützt hat.

Die Mitarbeiter der T.O. Münster, die mir in Rat und Tat zur Seite standen.

Tobias Benighaus für den Beistand bei EDV – Problemen und dem Layout.

Und meiner Familie, die mich unterstützt hat:

Sabrina, meiner Tochter (nimm' es als Ansporn, nicht als Maß)

Anuschka Schmidt

Volker Beckmann und seiner Familie

Wolf **Dieter** Lenfert, meinem Onkel und Freund

Allen nochmals meinen Dank.

Lebenslauf

Name : Christian Beckmann
Geburtsdatum und -ort : 23.11.1962 in Borken , Westfalen
Eltern : Marianne Beckmann , geb. Lenfert
Albert Beckmann
Familienstand : geschieden , Tochter Sabrina
Konfession : röm. kath.
Staatsangehörigkeit : deutsch

Schulbildung :

1969 - 1973 : Joh.Walling Grundschule Borken
1973 - 1980: Gymnasium Remigianum Borken
1991 - 1994: Abendgymnasium Hagen

Zivildienst :

1981 – 1982 : DRK Kreisverband e.V. Borken

Berufsausbildung :

1980 – 1981 : Polizeischule NRW, Brühl
1985 – 1988 : Fachschule der Deutschen Heilpraktiker, Bochum
1988 : Heilpraktikerprüfung Gesundheitsamt Borken
1988 – 1989 : Assistenzjahr in der Praxis HP A.Bergfeld, Lüdenscheid

Berufliche Tätigkeit :

1983 – 1985 Assistent in Naturheilpraxis HP W.Woeste, Borken
1989 – 1994: eigene Praxistätigkeit in Ennepetal als HP
1991 – 1993: Sektionsassistent, Pathologisches Institut des
Lehrkrankenhauses Hagen

Studium :

Seit 1995: Studium an der WWU Münster
1999: Physikum
2000: 1. Staatsexamen
2002: 2. Staatsexamen, Dissertation bei Prof. Drerup,
Tech.Orthopädie der WWU Münster
2003: 3. Staatsexamen, 26.Mai 2003