

Diagnostik und Therapie des diabetischen Fußsyndroms

Was leistet die Pedographie?

VON C. FRITSCH UND M. HASLBECK

Im Vergleich zu herkömmlichen Methoden wie dem Blauabdruck oder dem Podoskop (Beurteilung der Fußdruckbelastung durch Lichtreflexion) können elektronische Pedographiesysteme nicht nur die statische plantare Belastung des Fußes im Stehen, sondern auch die dynamische Belastungsverteilung während des Gehens erfassen. Der nachfolgende Artikel stellt die verschiedenen Pedographieverfahren vor und erläutert ihren Stellenwert in der Diagnostik und Therapie des diabetischen Fußsyndroms.



MMW-Fortbildungsinitiative: Diabetologie für den Hausarzt

Regelmäßiger Sonderteil der
MMW-Fortschritte der Medizin

Herausgeber:

Fachkommission Diabetes in Bayern –
Landesverband der Deutschen Diabetes-
Gesellschaft,
Prof. Dr. Peter Bottermann (1. Vorsitzender),
August-Macke-Weg 8
D-81477 München

Redaktion:

Dr. med. Miriam Friske (Koordination);
Prof. Dr. M. Haslbeck; Prof. Dr. P. Bottermann;
Dr. R. Renner; alle München.

– Bei der Pedographie werden grundsätzlich zwei Verfahren unterschieden:

1 Die Pedographie mit einer Messplattform

Sie wird zur Barfußmessung verwendet und erlaubt eine neutrale, objektive und gut wiederholbare Beurteilung der Fußfunktionen während des Bodenkontaktes unter dynamischen Belastungsbedingungen – ohne Beeinflussung durch die Schuhe (Abb. 1). Die Messplattform wird deshalb zur funktionellen Gang-

diagnostik eingesetzt. Intra- und inter-individuelle Vergleiche von Patienten sind gut möglich. Pathologische Muster und Scores können in Studien erstellt werden.

2 Die Pedographie mit einem Im-Schuh-Messsystem

Hier wird die dynamische Druckverteilung mittels Messsohle erfasst, die direkt unterhalb des Fußes, d. h. auf der Schuheinlage liegt. Die gemessenen Druckverteilungen resultieren somit

Dr. rer. nat. C. Fritsch
Biomechanik-
labor novel GmbH,
München



nicht nur aus der Biomechanik des Fußes, sondern auch aus der Mechanik des Schuhs und der Einlagen. Mit einem mobilen Im-Schuh-Messsystem können



– **Abbildung 1**

Pedographie mit der Messplattform (A): Komposition verschiedener Phasen des Abrollvorgangs während der Barfußmessung auf einer Messplattform mit mehreren tausend geeichten kapazitiven Sensoren.

Unauffälliges Fußdruckprofil (B):

Die Abbildung (Maximaldruckbild) zeigt an jedem Bildpunkt (Sensor) den während des Abrollvorgangs aufgetretenen Spitzendruckwert farblich kodiert an. Hohe Druckwerte sind in roter und rosa Farbe dargestellt. Die Linie (Ganglinie) gibt die Veränderung des Druckschwerpunktes beim Abrollvorgang an. Die inhomogene Druckverteilung spiegelt das normale Belastungsprofil mit relativ höheren Druckwerten unter der Ferse, dem 2. und 3. Metatarsalköpfchen und der Großzehe wider. Im Druckprofil sind alle Zehen erkennbar. Die Mittelfußregion ist wenig belastet. Die Biomechanik des Abrollvorgangs wird durch die gleichförmige, vom Mittelpunkt

der Ferse bis zur Großzehe reichende Ganglinie repräsentiert.

Diabetisches Fußsyndrom (C):

Plantare Druckverteilung (Maximaldruckbild) des Fußes bei ausgeprägter sensorischer diabetischer Neuropathie. Hohe Druckwerte sind in roter und rosa Farbe dargestellt. Die Linie (Ganglinie) gibt die Veränderung des Druckschwerpunktes beim Abrollvorgang an. Aufgrund der Neuropathie mit sensibler Deafferentierung treten hier pathologisch erhöhte Druckwerte sowohl unter allen Metatarsalköpfchen als auch an der lateralen Seite des Mittelfußes auf. Die Großzehe und die 2. Zehe weisen sehr geringe und die 3., 4. und 5. Zehe keine Druckwerte auf. Die durch die Neuropathie veränderte Biomechanik beim Abrollen des Fußes wird durch die ungleichförmige, mit Haken und Schleifen gekennzeichnete Ganglinie widergespiegelt.

sowohl die plantaren Fußbelastungen im Alltag erfasst als auch die Qualität orthopädieschuhtechnischer Maßnahmen überprüft werden. Intraindividuelle Vergleiche sind möglich, interindividuelle dagegen aufgrund des Einflusses der Schuhe problematisch.

Beide Systeme haben unabhängig voneinander ihre spezifischen Einsatzbereiche. Zur Diagnostik der lokalen Druckbelastung und zur Qualitäts- und Verlaufskontrolle der orthopädieschuhtechnischen Versorgung des diabetischen Fußsyndroms ist der kombinierte Einsatz beider Systeme empfehlenswert.

Messprinzip und Sensortechnologien

Es gibt verschiedene Prinzipien von elektronischen Drucksensoren, deren Gemeinsamkeit die Veränderung ihrer elektrischen Eigenschaften aufgrund des applizierten Drucks oder der Kraft ist. Zur Messung der räumlichen Verteilung des Drucks sind die einzelnen Sensoren in einer Matrix verschaltet. Wesentlich für die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ist das Eichverfahren der Sensoren, bei dem ein funktioneller Zusammenhang zwischen den elektrischen Signalen und den applizierten Druckwerten für jeden einzelnen Sensor quantifiziert wird.

In der Pedographie verwendete Messplattformen sind typischerweise rechteckig (z. B. 582 x 340 mm bis 690 x 403 mm), verfügen über bis zu 6080 geeichte Sensoren, besitzen eine Auflösung von 1, 2 oder 4 Sensoren pro cm² und eine Abtastrate von 25 bis 400 Hz.

Die auf dem Markt befindlichen Systeme unterliegen derzeit immer noch keiner durch den Gesetzgeber geregelten Qualitätskontrolle. Jedoch gibt es bereits einige Publikationen zur Unterscheidung der Qualität der verschiedenen, auf dem Markt befindlichen Systeme, die vor der Anschaffung unbedingt zu berücksichtigen sind [4, 8]. In Deutschland sind folgende Systeme auf dem Markt: EMED (www.novel.de), GP Multisens (www.gotec.de), Medilogic (www.medilogic.com), Orthoped (www.cosinos.de) und Parograph (www.paromed.de).

Das physikalische Messprinzip der Sensoren und die Eichung sind von ele-

mentärer Bedeutung, um genaue und reproduzierbare Messungen zu erhalten. Insbesondere die Anwendung in der Medizin bedarf einer bestimmten Genauigkeit und Verlässlichkeit der Systeme. Differenzen in den Messwerten dürfen nur mit Veränderungen am Patienten korrelieren und nicht mit schlecht reproduzierenden Messsystemen.

Standardisierte Datenerfassung und Datenauswertung

Damit eine Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet ist, muss die routinemäßig durchgeführte Messung am Patienten standardisiert sein. Da das natürliche Gangverhalten reproduziert werden soll, sollte bei der Barfußmessung ein ausreichender Anlauf vor der Plattform und ein ausreichender Auslauf hinter der Plattform möglich sein. Zum Niveaueingleich sollte die Messplattform in den Boden eingebettet sein. Anschließend werden pro Fuß drei bis fünf Messungen durchgeführt, damit das charakteristische Fußprofil durch Mittelung berechnet werden kann. Insgesamt ist für den

gesamten Messvorgang ein Zeitbedarf von 10–15 Minuten anzusetzen.

Neben der reinen Messdatenaufnahme muss die Software eine detaillierte Analyse und Interpretation der Messdaten zulassen. Datenbankgestützte Analysesysteme (z. B. Firma novel GmbH, München) bieten die Möglichkeit, alle relevanten klinischen Parameter zu verwalten und diese mit pedographischen Parametern gezielt auszuwerten.

Obwohl es für verschiedene Anwendungen wie z. B. den diabetischen Fuß oder orthopädische Fußkrankungen auf der Basis von weltweit standardisierten klinischen Untersuchungsprotokollen vorstrukturierte Datenbanken mit automatischer Analyse pedographischer Daten gibt, erfordert die individuelle Beurteilung der Patientendaten grundsätzlich praktische Erfahrung in der Anwendung der Untersuchungsmethode.

Pedographie in der Diagnostik des diabetischen Fußsyndroms

Gemäß den Empfehlungen der Amerikanischen Diabetes Gesellschaft ist das

Tabelle 1	
Pedographische Merkmale bei Normalbefund und diabetischem Fußsyndrom	
A: Typische pedographische Merkmale einer unauffälligen plantaren Druckverteilung (s. Abb. 1)	
1	Inhomogene Druckverteilung mit relativ erhöhten Druckwerten unterhalb der Ferse, des Vorfußes und der Großzehe.
2	Die Regionen unter Metatarsale 1, 2 und 3 zeigen höhere Druckwerte in Relation zu den Metatarsalregionen 4 und 5.
3	Höhere Druckwerte unterhalb der Großzehe – alle anderen Zehen sind ebenfalls aktiv an der Abrollbewegung beteiligt.
4	Stetiges Abrollen des Fußes von der Ferse über Mittel- und Vorfuß bis zu den Zehen, d. h. die Ganglinie zeigt eine stetige Linie von der Ferse über den Mittelfußbereich, der 2. und 3. Metatarsalregion bis zur Großzehe.
B: Pedographische Merkmale des Abrollvorgangs beim diabetischen Fußsyndrom	
1	Erhöhte Druckwerte (z. B. über 600 kPa = 60 N/cm ² bei einer Plattform mit einer Sensorauflösung von zwei Sensoren pro cm ²) insbesondere unter den Metatarsalregionen.
2	Erhöhte Belastungsdauer der Vorfußregion durch „patschenden“ Gang.
3	Kein normales Abrollen des Fußes, d. h. ungleichförmige und verkürzte Ganglinie als Konsequenz eines pathologischen Abrollvorganges mit schon anfänglicher Belastung des Mittelfußes und fehlendem Abrollen über die Zehen.
4	Relativ hohe Druckwerte unterhalb der Mittelfußregion bei der diabetischen Neuroosteoarthropathie (Charcotfuß).
5	Sehr geringe, oft fehlende Druckwerte unterhalb der Zehen.
6	Verminderte zeitliche Belastung der Ferse.

Erkennen folgender Risikofaktoren wesentlich für eine präventive Versorgung des diabetischen Fußes [1]:

- ① Periphere Neuropathie mit mehr oder weniger ausgeprägtem Sensibilitätsverlust;
- ② Veränderte Biomechanik (z. B. Fußdeformität und/oder Neuropathie) nachweisbar durch erhöhte dynamische plantare Druckbelastungen;
- ③ Periphere arterielle Verschlusskrankheit;
- ④ Anamnestischer Fußulkus oder Amputationen und

⑤ Pathologische Nagelveränderungen.

Unstrittig ist heute, dass erhöhte Druckbelastungen einen bedeutenden Risikofaktor für diabetesbedingte Fußkomplikationen darstellen [2, 6, 9, 10]. Die Mehrzahl dieser Druckläsionen lassen sich auf eine mechanische Schädigung des Gewebes zurückführen, zu der es aufgrund der bei jedem Schritt wiederholten Mikrotraumata kommt, in Kombination mit Sensibilitätsstörungen bei peripherer Neuropathie [1, 2, 5].

Um eine veränderte plantare Druckverteilung rechtzeitig zu erkennen und

die vermehrte Druckbelastung genau zu lokalisieren, ist die Pedographie prädestiniert. Natürlich können auch ohne Pedographie durch sorgfältige Inspektion des Fußes Druckstellen und somit gefährdete Stellen erkannt werden – aber nur, wenn bereits strukturelle Haut- und Gewebeveränderungen (trophische Störungen mit Rhagaden, Einblutungen sowie vermehrter Bildung von Hornhaut und Hornhautplatten) an der Fußsohle vorhanden sind.

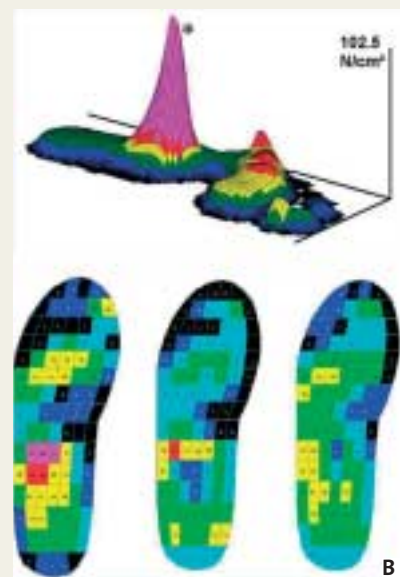
Vorteile der Messplattform

Der Vorteil der Pedographie-Messplattform ist ihr routinemäßiger Einsatz als funktionell-diagnostische Zusatzmethode, z. B. zur Früherkennung einer gestörten Biomechanik oder anderer Fußveränderungen (Tabelle 1). Die durch die gestörte sensible Rückmeldung bewirkte biomechanische Veränderung des dynamischen Bewegungsablaufes beim Gehen spiegelt sich in einer veränderten dynamischen Druckverteilung wider. Pathologisch hohe Druckspitzen, d. h. Orte und Phasen der Abrollbewegung, an denen die Belastung durch stetige Wiederholung die Belastbarkeit des Gewebes übersteigt, weisen auf eine Ulkusgefährdung hin und können durch ein routinemäßig durchgeführtes pedographisches Screening ggf. mit entsprechenden Verlaufsuntersuchungen frühzeitig erkannt, diagnostiziert und ggf. therapiert werden.

Der plantare Druck ist jedoch nur eine Variable, um das Risiko für Druckläsionen abzuschätzen. Zusätzlich müssen die Zeitdauer, die Anzahl der wiederholten lokalen Druckbelastungen und insbesondere die Grunderkrankungen und die oben beschriebenen Risikofaktoren herangezogen werden [2, 5, 9]. Die Pedographie ist deshalb kein Ersatz der bekannten klinischen Untersuchungsverfahren, sondern eine wertvolle Zusatzdiagnostik bei der Früherkennung des diabetischen Fußsyndroms.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass nur bei etwa 40% der Diabetiker mit pathologischer Druckverteilung auch eine periphere Neuropathie beteiligt war [13]. Evidenzbasierte Leitlinien erlauben heute die Diagnostik der

Abbildung 2



Plattformmessung und orthopädie-schuhtechnische Versorgung nach Teilamputation des 4. und 5. Strahls [nach Walter, München] (A):

Das linke Bild zeigt ein Photo des teilamputierten Fußes. In der Mitte ist die Druckverteilung (Maximaldruckbild) der dynamischen Barfußmessung wiedergegeben. Hohe Druckwerte sind in roter und rosa Farbe, mittlere in gelber und niedrige

Druckwerte in blauer und schwarzer Farbe dargestellt. Die Linie (Ganglinie) gibt die Veränderung des Druckschwerpunkts beim Abrollvorgang an. Das rechte Maximaldruckbild zeigt die Druckverteilung nach einer Im-Schuh-Messung. Erkennbar ist sowohl die Umverteilung und Reduzierung der Spitzendruckwerte im Vorfuß (keine roten oder pinkfarbenen Druckwerte) als auch eine verbesserte Abrollbewegung (Ganglinie ist geradliniger und gleichförmiger, beginnt in der Fersenregion und endet im Vorfußbereich).

Plattformmessung und orthopädie-schuhtechnische Versorgung einer Diabetischen Neuroosteoarthropathie (Charcot Fuß) [nach Jahrling, Gießen] (B):

Das obere Bild zeigt die Druckverteilung (Maximaldruckbild), wie sie mit der Plattform gemessen worden ist. Hohe Druckwerte sind in roter und rosa Farbe dargestellt. Aufgrund der diabetischen Neuroosteoarthropathie wurde im Mittelfußbereich (*) ein Spitzendruckwert von 102,5 N/cm² gemessen. Darunter sind die Druckverteilungen (Maximaldruckbilder) der Im-Schuh-Messung dargestellt. Das erste dieser Bilder zeigt die im Schuh auftretende dynamische Druckbelastung ohne orthopädie-schuhtechnische Versorgung. Das mittlere Bild zeigt eine partielle Druckentlastung und das rechte gibt die optimierte Druckentlastung (Orthese) wieder (Sensorauflösung der Plattform: 2/cm², Sensorauflösung der Messsohlen: 1/cm²).

sensomotorischen Neuropathie mit einfachen Hilfsmitteln [7].

Einsatz der Pedographie bei der Therapie des diabetischen Fußsyndroms

Wegen der Komplexität der pathophysiologischen Abläufe erfordert die Therapie des diabetischen Fußsyndroms eine enge Kooperation zwischen Arzt und Orthopädienschuhtechniker. Die Pedographie ist heute ein wichtiges Hilfsmittel, um orthopädietechnische Einlagen und die Schuhversorgung beim diabetischen Fußsyndrom zu kontrollieren [3, 11, 12].

Vom Landesverband der deutschen Diabetes-Gesellschaft in Bayern (Fachkommission Diabetes in Bayern) liegt eine Einteilung des diabetischen Fußsyndroms nach dem Erkrankungsstadium sowie den stadiengerechten Leistungen der Orthopädie-Schuhtechnik vor [6]. Zur Qualitätskontrolle der orthopädienschuhtechnischen Maßnahmen und zur Dokumentation des objektiven, exakten Vergleichs der Situation vor und nach der Durchführung werden heute Im-Schuh-Messsysteme bei entsprechender Indikation (z. B. Diabetes mit Neuropathie und/oder AVK mit oder ohne Fußdeformität) eingesetzt (Abb. 2). Dies gilt auch bei akutem oder chronisch aufgetretenem Druckulkus, akuter oder chronischer Charcot-

arthropathie und nach Minor-/Major-Amputationen.

Zudem dient das digitalisierte, farbige Druckbild dem Orthopädienschuhtechniker als Vorlage, um eine orthopädische Einlage zu erstellen. Mittlerweile gibt es Systeme zur computergestützten Einlagenfertigung, welche die digitalisierten Daten der Pedographie direkt verwerten. Mit CAD-(Computer Aided Design)-Systemen können die pedographischen mit orthopädienschuhtechnischen Daten exakt nach funktioneller und medizinischer Notwendigkeit kombiniert und anschließend in eine Fräsmaschine zur Erstellung einer Einlage übertragen werden. Diese computergestützte Einlagenfertigung ist eine Beschleunigung und bedeutet auch eine qualitative Verbesserung und sichert insbesondere eine genaue Reproduzierbarkeit der diabetisch-adaptierten Einlagen.

Literatur

1. American Diabetes Association: Preventive foot care in diabetes. *Diabetes Care* 27 (2004), suppl. 1, 63–64.
2. Cavanagh, P., et al.: The biomechanics of the foot in diabetes mellitus. In: Levin and O'Neil's: The diabetic foot. 6th ed., 2001, S. 125–196.
3. Cavanagh, P. R., et al.: Biomechanische Aspekte der Versorgung. *OST-Sonderheft Diabetes* (1996), 68–77.
4. Cavanagh, P. R., et al.: Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. *The Foot* 4 (1994), 123–135.

5. Cavanagh, P. R., et al.: What the practising physician should know about the diabetic foot biomechanics. In: Boulton, A. J. M., et al. (ed.): *The foot in diabetes*. 3rd edn. John Wiley Sons, Ltd., 2000.
6. Haslbeck, M., et al.: Das diabetisches Fußsyndrom. *Münchener Medizinische Taschenbücher*, Urban & Vogel, München 2003, S. 41–47.
7. Haslbeck, M.: Diagnose und Therapie der sensomotorischen diabetischen Neuropathie, Praxis-Leitlinien der Deutschen Diabetes-Gesellschaft. *Diabetes und Stoffwechsel* 11 (2002), Suppl. 2., 25–27.
8. Hochmann, D., et al.: Evaluierung der Messmethoden zur Bewertung des therapeutischen Nutzens von Antidekubitus-Systemen. *Biomedizinische Technik* 47 (2002), 816–819.
9. Lavery, L. A., et al.: Predictive value of foot pressure assessment as part of a population based diabetes disease management program. *Diabetes Care* 26 (2003), 1069–1073.
10. Lobmann, R., et al.: Association of increased plantar pressures with peripheral sensorimotor and peripheral autonomic neuropathy in Type 2 diabetic patients. *Diabetes Nutr. Metab.* 15 (3) (2002), 165–168.
11. Lobmann, R., et al.: Effects of preventative footwear on foot pressure as determined by pedobarography in diabetic patients: a prospective study. *Diabet. Med.* 18 (4) (2001), 314–319.
12. Rosenbaum, D.: Grundlagen der Pedobarometrie. *Orthopädienschuhtechnik* (2002), 26–30.
13. Strian, F., et al.: Neurologische Erkrankungen. In: Mehnert, H., et al. (ed.): *Diabetologie in Klinik und Praxis*. 4. Aufl., Thieme, Stuttgart 2004, S. 550–576.

Anschriften der Verfasser:

Dr. rer. nat. C. Fritsch, novel GmbH, Ismaninger Str. 51, D-81675 München, E-Mail: christophritsch@novel.de
 Prof. Dr. med. M. Haslbeck, Institut für Diabetesforschung, Kölner Platz 1, D-80804 München

Zusammenfassung | MMW-Fortschr. Med. 146 (2004), 631–634

Grundlagen und Stellenwert der Pedographie bei der Diagnostik und Therapie des diabetischen Fußsyndroms

Pedographiesysteme sind heute an vielen Forschungszentren und Kliniken weltweit im Einsatz. Die Pedographie mit der Plattform erlaubt eine schnelle und präzise Messung der Druckverteilung unter der Fußsohle sowohl dynamisch als auch statisch und dient der funktionellen Diagnostik des Abrollvorganges des Fußes. Die mit Messsohlen durchgeführte Druckverteilungsmessung dient der Messung im Schuh bei therapeutischen orthopädienschuhtechnischen Maßnahmen. Dabei kann z. B. die diabetesadaptierte Einlage mit exaktem Vorher-/Nachher-Vergleich und die Druckreduktion dokumentiert und

objektiviert werden. Die Pedographie verbessert als Zusatzdiagnostik die Prävention und ermöglicht eine Qualitätssicherung der orthopädienschuhtechnischen Fußversorgung beim diabetischen Fußsyndrom und leistet einen Beitrag zur Reduktion der enormen Folgekosten.

Schlüsselwörter: Pedographie – Drucksensoren – diabetisches Fußsyndrom – plantare Fußdruckbelastung – funktionelle Diagnostik – Einlagenversorgung – Qualitätskontrolle

Significance of Pedography in the Diagnosis and Treatment of the Diabetic Foot Syndrome

Pedographic systems are now in use in many research centers and hospitals

throughout the world. The platform system permits rapid and accurate static and dynamic measurement of the local pressure loading on the plantar surface of the foot, and also permits a functional assessment of the roll-over process in the bare foot. The in-shoe system employing an insole measures the pressure distribution within an orthopedic shoe and enables an accurate comparison of the loading situation before and after fitting. As an additional diagnostic tool, pedography improves preventive measures and the quality of the orthopedic treatment of the diabetic foot.

Keywords: Pedography – Diabetic foot syndrome – Plantar pressure distribution – Pressure sensors – Functional diagnosis – Orthoses – Quality control