

H. Baur, A. Hirschmüller, S. Müller, M. Cassel, F. Mayer

Therapeutische Effizienz und Wirkungsweisen von Schuheinlagen im Sport

Therapeutic Efficiency and Effects of Shoe Orthotics in Sports

Der Artikel beschreibt aufeinander aufbauende Studien zur Untersuchung der Effektivität von Sportschuheinlagen in der Behandlung von chronischen Überlastungsbeschwerden. Sowohl die klinische Erfahrung als auch ein Großteil der wissenschaftlichen Literatur berichten über eine gute Therapieeffizienz, obwohl der evidenzbasierte Nachweis nur vereinzelt erbracht wurde, da die häufig unzureichenden Studiendesigns keine abschließende Beurteilung zulassen. Zudem sind die zugrundeliegenden Wirkmechanismen einer eintretenden Beschwerdereduktion nur unzureichend geklärt. Es werden neben mechanischen Effekten zunehmend sensomotorische Wirkungsmechanismen diskutiert.

This article reports a series of studies analyzing the therapeutic efficiency of sport shoe orthotics in patients suffering from overuse injury. Both practical experience in Sports Medicine and the scientific literature suggest that orthotics are a reasonable therapy tool, although evidence-based data is still missing in a lot of cases due to insufficient study designs. Moreover, effects and mechanisms of an orthotic therapy producing clinically positive results are still subject of debate. Mechanical as well as sensorimotor effects are currently discussed.

Einleitung

Schuheinlagen werden zur Therapie der unterschiedlichsten Beschwerdebilder am Fuß eingesetzt. Der Einsatzbereich geht von strukturellen Fehlstellungen und klassischen orthopädischen Beschwerdebildern über den Bereich diabetischer Füße sowie der Versorgung rheumatischer Fußbeschwerden bis hin zu sportspezifischen Beschwerdebildern, die oftmals auf überlastungsbedingte Mechanismen zurückzuführen sind [3, 8, 18].

Unbestritten scheint, dass es dabei für jeden Bereich aufgrund der jeweils speziellen Pathologie, der unterschiedlichen Bewegungsdynamik und der differentiellen Voraussetzungen der Patienten spezifische Vorgaben bezüglich der adäquaten Analyse und Datenerhebung im Hinblick auf eine Einlagenversorgung gibt. Gleichzeitig gibt es im Hinblick auf die Schuheinlagenkonstruktion, die verwendeten Materialien und die Fertigungstechnik generelle Unterschiede zwischen den genannten Versorgungsbereichen. So ist beispielsweise im Sport eine dynamische Analyse aufgrund der später auch in der Dynamik getragenen Versorgung nachvollziehbar. In diabetesadaptierten Fußbettungen werden unterschiedliche Schäume zur Druckentlastung und Umverteilung genutzt, was bei Sportversorgungen häufig eine geringere Rolle spielt. Innerhalb der verschiedenen Versorgungsbereiche werden Einlagen dann jedoch häufig sehr unsystematisch eingesetzt. So gibt es Einlagenkonstruktionen, die bei einer Vielzahl von Beschwerden angewandt werden. Die spezifische Ausrichtung auf die Pathologie kann

aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes nur unspezifisch erfolgen [27]. So wird angemahnt, dass ein generelles Versorgungsschema bislang fehlt [30].

Trotzdem wird Schuheinlagen das Potential für eine Beschwerdereduktion zugeschrieben. Dies soll entweder durch eine mechanische Korrektur der biomechanischen Gegebenheiten, durch Veränderung des afferenten Inputs oder durch eine Anpassung der Muskelaktivität gelingen [5, 22, 23, 24, 29]. Es liegen mehrere Beschreibungen über die Zufriedenheit von Patienten mit ihrer Einlagentherapie vor [10, 11, 32]. Der evidenzbasierte Nachweis auf Basis von randomisierten und kontrollierten Studien ist jedoch noch nicht sehr gefestigt [9, 15]. Zudem ist die Vergleichbarkeit der Studien und der Transfer der beschriebenen Ergebnisse in die klinische Praxis häufig erschwert, da die erhobenen Zielgrößen und die verwendeten Einlagenkonstruktionen sehr unterschiedlich und meistens nicht detailliert beschrieben sind. Zwei aktuelle systematische Übersichtsarbeiten über die therapeutische Effizienz von Schuheinlagen in der Behandlung von Überlastungsbeschwerden der unteren Extremität kommen zu dem Schluss, dass nicht genügend Evidenz für oder gegen den Einsatz von Schuheinlagen als Therapiemittel vorliegt, da die vorhandenen Daten in ihrer methodischen Qualität als nicht ausreichend bewertet werden müssen. Zudem sind die Studien zu heterogen angelegt, um Daten einer großen Patientenzahl in einer Metaanalyse sinnvoll poolen zu können [6, 9, 15]. Eine aktuelle klinische Studie an 179 Patienten kam zu dem Schluss, dass Schuheinla-

gen schnellere Erfolge im Vergleich zu einer flachen Einlegesohle bei Patienten mit patellofemoralem Schmerzsyndrom erzielen können [7]. Es werden jedoch mehr klinisch gut angelegte Studien gefordert, um ein klareres Bild über die Therapieoption „Schuheinlage“ zu bekommen [4, 17].

Eine erste Studie der Arbeitsgruppe beschäftigte sich deshalb mit der Frage, inwieweit Läufer mit chronischen Achillesbeschwerden während einer kurzfristigen Therapie von vier Wochen auf eine physiotherapeutische Behandlung oder auf eine Therapie mit Schuheinlagen reagieren. Gemäß gängigen Standards für die Durchführung einer randomisierten klinischen Studie wurden zunächst Einschluss-

kriterien definiert: einseitige chronische Beschwerden im mittleren Anteil der Achillessehne, keine Vorbehandlung, keine Begleittherapie, ein Mindesttrainingsumfang von 30 km pro Woche. Es wurden dann 63 Läufer rekrutiert und von einem Orthopäden in einer klinischen Untersuchung evaluiert.

Davon konnten 31 Läufer in eine von drei Therapiegruppen (Physiotherapie P, Schuheinlagen E, Kontrollgruppe K) randomisiert, das heißt nach dem Zufallsprinzip zugelost werden. Anschließend wurde bei den Probanden mittels einer Laktatleistungsergometrie eine jeweils vergleichbare individuelle Belastungsintensität für spätere Tests festgelegt.

Dann folgte eine zweiwöchige Vorbereitungsphase, in der eine Gewöhnung an Schmerzfragebögen und an das Ausfüllen der Trainingstagebücher stattfand. Für die Läufer der Einlagengruppe wurde während dieses Zeitraumes eine Schuheinlage mit vertikalem Aufbau aus einem Polyadditionsschaum (Move-Control, IETEC, Künzell) auf Basis einer dynamischen plantaren Druckverteilungsmessung gebaut. Dann erfolgte der erste Messtag. Zu Beginn wurden die aktuelle Schmerzempfindung mit einem Fragebogen (Subjektive Schmerzempfindungsskala/SES) und die funktionelle Ein-

schränkung durch die Beschwerden (Pain-Disability-Index/PDI) in verschiedenen Lebensbereichen wie Arbeit, Freizeit, Beruf, etc. erhoben.

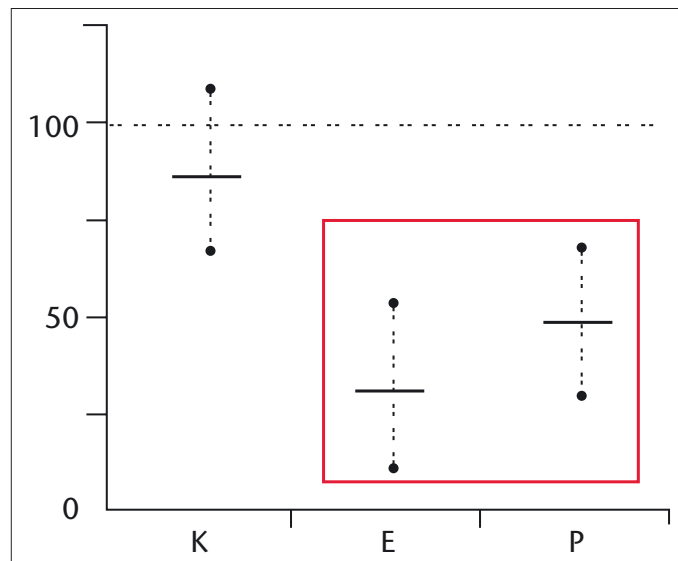


Abb. 1 Darstellung der Differenz der funktionellen Einschränkung durch die Beschwerden anhand des PDI ($M2/M1 \times 100$): Reduktion der funktionellen Einschränkung in der Einlagen- und in der Physiotherapiegruppe um über 50 Prozent vom Ausgangswert.

Es folgte eine 20-minütige Laufbelastung mit anschließender erneuter Abfrage der Schmerzempfindung. Daran schloss sich eine definierte maximale Kraftbelastung auf einem isokinetischen Kraftdiagnosegerät (mit Plantarflexion und Dorsalextension) an, um den Muskel-Sehnenkomplex an der Achillessehne zu ermüden. Zum Abschluss erfolgte noch einmal eine Abfrage der akuten Beschwerden.

Diese stufenweise Belastung wurde gewählt, um das Schmerzgeschehen im Verlauf einer sportlichen Belastung erheben zu können. Nach diesem ersten Messtag erhielt die Einlagengruppe ihre Schuheinlage, die bei jedem Lauftraining für die kommenden vier Wochen getragen werden musste. Die Probanden der Physiotherapiegruppe trainierten ebenfalls wie gewohnt weiter, erhielten aber ein standardisiertes Physiotherapieprogramm: Dieses bestand aus zehn Einheiten innerhalb der vierwöchigen Intervention (mit zwei bis drei Einheiten pro Woche), bei denen Querfrictionsmassagen der Achillessehne, Ultraschall, Eisbehandlungen und ein sensomotorisches Training mit exzentrischen Übungsanteilen angewandt wurden. Die Kontrollgruppe erhielt keine Intervention und trainierte ebenfalls wie gewohnt weiter.

Nach der Interventionsdauer von vier Wochen wurde das gleiche Messprotokoll wiederholt. Bezüglich der funktionellen Einschränkung konnten die mit physiotherapeutischen Maßnahmen behandelten Läufer und die Läufer der Einlagengruppe eine deutliche Reduktion der Beschwerden konstatieren. Die Probanden der Kontrollgruppe blieben in etwa auf dem Ausgangsniveau. Abbildung 1 zeigt in der Darstellung der Differenzen von Messtag 2 zu Messtag 1 die Kontrollgruppe nahe des Ausgangsniveaus von 100 Prozent, was den Beschwerden an Messtag 1 entspricht. In den beiden Gruppen E und P entwickelten sich die funktionellen Einschränkungen durch die Beschwerden positiv auf ein Niveau unter 50 Prozent vom Ausgangswert.

Neben der Entwicklung der funktionellen Einschränkung ist für die Beurteilung des Therapieerfolges, insbesondere für die sportliche Praxis, relevant, wie sich im Verlauf einer akuten sportlichen Belastung die Beschwerden verhalten. Dies wurde durch Verlaufsabfragen während der Belastung an den Messtagen erfasst. Hier wurde festgestellt, dass zu Beginn der Studie alle Probanden, unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit, einen Anstieg der Schmerzempfindung bei zunehmender Belastung aufwiesen (Abb. 2 links – „vor der Therapie“). Beim Test nach der Therapie hatte die Kontrollgruppe immer noch den gleichen Anstieg bei der Schmerzempfindung, während die Läufer der Einlagengruppe und auch die physiotherapiebehandelten Läufer keinen Anstieg der Beschwerden berichteten (Abb. 2 rechts – „nach der Therapie“).

Die beiden Therapieformen waren somit in der Lage, nicht nur die funktionellen Einschränkungen und den Ruheschmerz positiv zu beeinflussen. Die Therapien konnten auch verhindern, dass im Laufe einer Belastung die Beschwerden verstärkt auftreten. Dies war ein erster Hinweis auf die therapeutische Effizienz von Schuheinlagen bei der Behandlung von chronischen Achillessehnenbeschwerden. Neben physiotherapeutischen Maß-

nahmen steht somit eine weitere Therapieoption zur Verfügung.

Um die Effektivität von Schuheinlagen weiter zu untersuchen, wurde auf diesen Ergebnissen aufbauend eine zweite Studie geplant, die zum einen mehr Beschwerdebilder untersuchte und zum anderen das Therapiefenster verlängerte, um mehr über die Nachhaltigkeit der therapeutischen Wirkung zu erfahren.

Für diese zweite Studie wurden zunächst 125 Läufer rekrutiert, die sich ebenfalls in einer Eingangsuntersuchung dem Ein- und Ausschluss stellen mussten. Zu den Einschlusskriterien gehörte auch ein ausreichender Trainingsumfang. Die Studienteilnehmer mussten zudem ein Beschwerdebild und eine Beschwerdelokalisation an der unteren Extremität aufweisen. Mehrfache Lokalisationen wurden ausgeschlossen. Die Beschwerden mussten mindestens sechs Wochen (chronisch) vorliegen und durften bisher nicht therapiert sein. Im Falle von Vorbe-



Abb. 3 Schuheinlage aus Polyadditionsschaum mit einer Schalenform im Rückfuß, medialer Längsgewölbeanhebung und Detorsionskeil. Die Einlagen wurden individuell nach dynamischer Druckverteilungsmessung für jeden Probanden angefertigt.

handlungen oder gar Voroperationen an der unteren Extremität wurden die Läufer nicht für diese Studie zugelassen.

So wurden schließlich 99 Personen in eine Einlagengruppe (E) und eine Kontrollgruppe (K) randomisiert. Dies geschah stratifiziert, so dass in jeder Gruppe in etwa die gleiche Häufigkeit an Beschwerdebildern vertreten war.

Die Kontrollgruppe wurde angewiesen, ihr reguläres Training wie gewohnt fortzuführen und keine Trainingsmodifikation vorzunehmen. Gleiches galt für die Schuh-

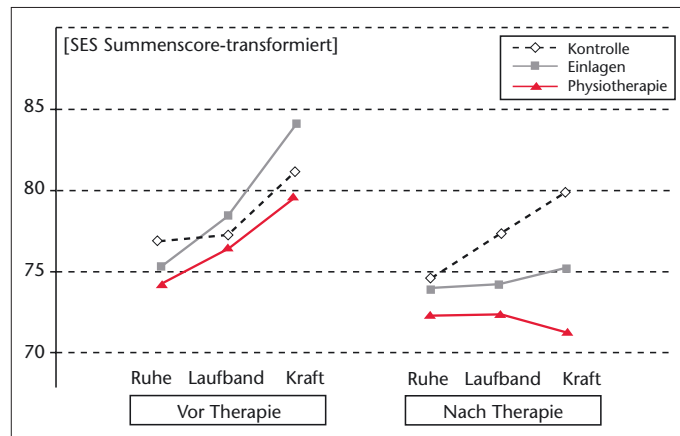


Abb. 2 Schmerzempfindung in Ruhe und im Verlauf einer sportlichen Belastung vor und nach der Therapie (Subjektive Schmerzempfindungsskala SES – Summenscores).

einlagengruppe (E), die jedoch zusätzlich eine Schalen einlage aus Polyadditionsschaum (MoveControl, IETEC, Künzell) nach dynamischer Analyse (plantare Druckverteilung) zum Tragen während jeder Trainingseinheit bekam (Abb. 3).

Eine Gewöhnungsphase wie in der ersten Studie sollte die Probanden an die Schmerzevaluation und die Trainingsdokumentation gewöhnen. An einem ersten Messtag wurden ebenfalls die funktionelle Einschränkung (Pain-Disability-Index/PDI) und die subjektive Schmerzempfindung abgefragt. Zusätzlich kam in Anlehnung an Studien zur Komfortbeurteilung von Schuheinlagen ein spezieller Komfortfragebogen für die verwendete Einlage zum Einsatz [20, 21]. Dabei wurde die Fersenführung, die Längsgewölbeanhebung, die Flexibilität der Einlage sowie die Kombination aus Schuh und Einlage auf einer visuellen Analogskala bewertet. Darüber hinaus wurde gefragt, wie das Laufen mit der Einlage im Vergleich zum Laufen ohne Einlage bewertet wird. Aus diesen Items wurde ein Summscore gebildet (mit einem Range von 0 bis 100). Neben diesen klinischen Größen erfolgte in einem biomechanischen Test zusätzlich die Analyse der plantaren Druckverteilung mit und ohne Einlage sowie die Analyse der muskulären Aktivität der Unterschenkelmuskulatur in einem standardisierten Laufbandtest bei zwölf km/h.

Es zeigte sich nach der acht Wochen dauernden Intervention, dass die funktionelle Einschränkung der Beschwerden in der Einlagen tragenden Gruppe um 58 Prozent zurückging. In der Kontroll-

gruppe musste dagegen ein leichter Anstieg konstatiert werden (Abb. 4). Gleiches galt für die subjektive Schmerzempfindung, die insbesondere in den ersten beiden Therapiewochen die größte positive Veränderung in der Einlagengruppe zeigte.

Die Einlagen tragende Gruppe beurteilte den Tragekomfort der Einlage als sehr gut. Jeweils am ersten Messtag und dann jeweils wöchentlich in der Trainingsdokumentation abgefragt, wurden Komfortwerte von 70 bis 83 Prozent (auf einer Skala von null Prozent = minimaler Komfort bis 100 Prozent = maximaler Komfort) angegeben. Das hohe Ausgangsniveau und ein Anstieg auf Werte über 80 Prozent-Punkte in der

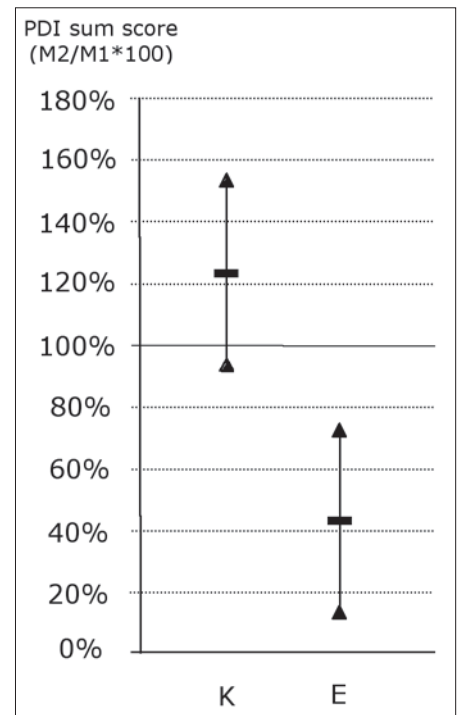


Abb. 4 Darstellung der Differenz der funktionellen Einschränkung durch die Beschwerden anhand des PDI ($M2/M1 \times 100$): Reduktion der funktionellen Einschränkung in der Einlagengruppe um 58 Prozent.

ersten Hälfte der Intervention zeigten, dass generell sehr früh abgeschätzt werden kann, ob eine Einlage als komfortabel beurteilt wird. Die Beurteilung der subjektiven Schmerzempfindung scheint darauf hinzuweisen, dass auch der eigentliche Therapieerfolg frühzei-

tig, also in den ersten beiden Therapiewochen, beurteilt werden kann.

Die Ergebnisse der deutlichen Beschwerdereduktion legen den Schluss nahe, dass individuell angepasste Einlagen ein sinnvolles Therapiemittel in der Behandlung von überlastungsbedingten Beschwerden am Bewegungsapparat darstellen. Entgegen der häufigen Meinung, dass Einlagen nur ein Teilaspekt einer multimodalen Therapie-strategie bei solchen Beschwerden sind (neben Belastungspause, Belastungsmodifikation, Physiotherapie, Stretching, etc.) [11], rechtfertigen die gezeigten Ergebnisse die Anwendung von Schuheinlagen als singuläre Therapiemaßnahme für Läufer, die trotz ihrer Beschwerden immer noch in der Lage sind, ihr reguläres Training zu absolvieren. Denn nur wenn der Patient seinem Training nachgehen kann und folglich auch die Einlage nutzt, kann ein Therapieeffekt entstehen. Bei

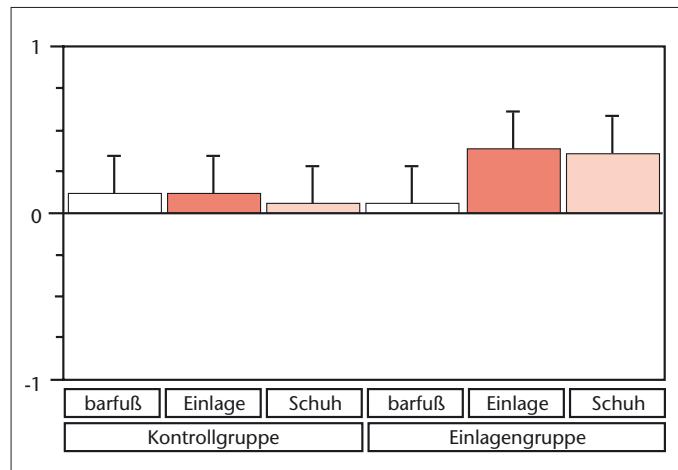


Abb. 5 Muskuläre Aktivität des *M. peroneus longus* während der Standphase. Darstellung der Differenz von M2 zu M1: Erhöhung der muskulären Aktivität in der Einlagengruppe durch das Tragen der Einlagen.

schwerwiegenden Beschwerden, die ein Training zunächst unmöglich machen, sind andere Maßnahmen vorzuziehen.

Es stellt sich nun die Frage, welche Mechanismen für die klinischen Effekte verantwortlich sind. Hier ist die Frage: Wie wirken die Schuheinlagen beim Tragen auf den Läufer? Hinsichtlich der Wirkungsmechanismen von Schuheinlagen existieren viele biomechani-

sche Studien. Allerdings sind die Schlussfolgerungen daraus vage und abschließende Wirkungszusammenhänge sind selten beschrieben [1, 4]. Theorien über die Wirksamkeit respektive darüber, wie Schuheinlagen das Bewegungssystem Mensch beeinflussen, waren in der Vergangenheit hauptsächlich „mechanisch“ orientiert. Durch eine statisch-mechanische Optimierung der unteren Extremität sei eine positive Beeinflussung des dynamischen Bewegungsmusters möglich [12, 13, 16]. Vor allem kinematische Analysen wurden

zur Unterstützung dieser Theorien herangezogen [25, 26]. Aufgezeigte methodische Schwächen kinematischer Analysen stellen diese Erklärungsansätze zunehmend in Frage [28, 31, 33]. Deshalb werden in jüngerer Zeit zusätzlich alternative Wirkmechanismen angenommen und neue Theorien entwickelt. Dabei werden Einflüsse von Schuheinlagen auf sensomotorische Regulationsprozesse diskutiert. Bezüglich

„sensomotorischer“ Wirkungsmechanismen liegen noch nicht viele Studien vor [5, 28, 33] (zur Diskussion um sensomotorische und mechanische Effekte sei an dieser Stelle auf die Übersicht von Baur et al. 2006 verwiesen [2]).

Um beide Aspekte zu berücksichtigen, wurde in der oben beschriebenen Studie deshalb an beiden Messtagen die plantare Druckverteilung (mechanischer Aspekt) und die muskuläre Aktivität (sensomotorischer Aspekt) beim standardisierten Laufen (barfuß, mit Schuh, ohne Einlage, mit Einlage) auf dem Laufband bei zwölf km/h gemessen. Nach deskriptiver Analyse der Druckverteilung konnte zum einen eine Druckerhöhung am medialen Längsgewölbe, ausgelöst durch die mediale Anhebung in der Einlage, gemessen werden. Daneben zeigte in der Einlagengruppe der als Haupt-sprunggelenkstabilisator fungierende M. peroneus longus in der Standphase eine erhöhte Aktivierungsamplitude nach Therapie (Abb. 5).

Dies war sowohl beim Tragen der Einlage der Fall als auch beim Tragen eines Schuhs ohne Einlage, sodass zumindest kurzfristig von einer generellen Adaptation durch das achtwöchige Einlagentragen auszugehen ist. Wie es zu dieser erhöhten Aktivität des M. peroneus kommt, ist aktuell lediglich theoretisch herzuleiten: Dem „mechanischen“ Ansatz folgend könnte eine mediale Längsgewölbeanhebung einen leichten „Umknickreiz“ in supinatorischer Richtung auslösen. Eine darauf folgende sprunggelenkstabilisierende Reaktion des Muskels führt dann möglicherweise zu einer erhöhten Aktivität.

Folgt man dem „sensomotorischen“ Paradigma, löst unter Umständen die Druckerhöhung am medialen Längsgewölbe im Bereich der Sehne des M. peroneus longus eine Änderung der Afferenzen aus (Muskelspindeln, Golgi-Sehnenapparate, Hautafferenzen), die dann in der Folge im Interneuronenpool auf Rückenmarksebene hemmende Mechanismen reduzieren und zu einer höheren Muskelaktivität führen. Beide Hypothesen bedürfen der weiteren Prüfung.

Die Ergebnisse können mit Sicherheit noch nicht als Beweis für sensomotorische Effekte gelten. Es bedarf hier der weiteren Verifikation durch komplexere Studien

zum möglichen Effekt, den Einlagen am sensorischen System auslösen.

In Zukunft werden weitere Studien notwendig sein, die insbesondere den langfristigen Therapieeffekt von Schuheinlagen untersuchen. Wie gezeigt, können nur aufwändige klinische Untersuchungen mit kontrolliertem und randomisiertem Design die therapeutische Effizienz untermauern. Zu oft werden bisher noch allein aus biomechanischen Laborstudien positive Effekte abgeleitet. Diese Interpretationen müssen jedoch in klinischen Studien belegt werden. Biomechanische Studien können demgegenüber helfen, mehr über die Wirksamkeit, also warum eine Schuheinlage möglicherweise positive therapeutische Effekte auslösen kann, zu erfahren.

Festzuhalten bleibt, dass eine deutliche Schmerzreduktion durch eine Schuheinlagenversorgung bei Patienten mit unterschiedlichen chronischen Überlastungsbeschwerden der unteren Extremität erreicht werden kann [14, 19]. Einlagen können somit als sinnvoll begründetes Therapiemittel bei Überlastungsbeschwerden gelten. Die Wirkungsmechanismen sind jedoch nicht abschließend geklärt. Eine Kombination aus mechanischen Effekten und sensomotorischen Anpassungen scheint naheliegend.

Die beiden beschriebenen Studien stammen von Mayer und Hirschmüller [14, 19].

Für die Autoren:

*Dr. phil. Heiner Baur
Universität Potsdam,
Hochschulambulanz
Professur für Sportmedizin und
Sportorthopädie
Am Neuen Palais 10 – Haus 12
14469 Potsdam*

Literatur:

- [1] Ball, K. A., M. J. Afheldt: Evolution of foot orthotics – Part 1: Coherent Theory or coherent Practice? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 25 (2002), 116-124
- [2] Baur, H., A. Gollhofer, F. Mayer: Die Wirkungsweise von Schuheinlagen: „mechanische“ und „sensorische“ Erklärungsmodelle. *Orthopädischschuhtechnik* (2006), Sonderheft „Sensorik“, 18-23
- [3] Bischof, F., C. Meyerhoff, J. Eltze, K. Türk: *Der diabetische Fuß, Diagnose, Therapie und schuhtechnische Versorgung*, Geislingen, C. Maurer Druck und Verlag, 2007
- [4] Borom, A. H., T. O. Clanton: Sport shoes and Orthoses, In: DeLee, J. C., D. Drez Jr.; M. D. Miller (Ed.), *Orthopaedic Sports Medicine Vol. 2* (S. 2275-2323). Philadelphia, PA: Saunders, 2003
- [5] Cavanagh, P.: The foot as a sensory organ. *Proceedings of the 17th Congress of the International Society of Biomechanics* (1999), 18
- [6] Collins, N., L. Bisset, T. McPoil, B. Vicenzino: Foot orthoses in lower limb overuse conditions: a systematic review and meta-analysis. *Foot Ankle Int* 28 (2007), 396-412
- [7] Collins, N., K. Crossley, E. Beller, R. Darnell, T. McPoil T, B. Vicenzino: Foot orthoses and physiotherapy in the treatment of patellofemoral pain syndrome: Randomised Clinical Trial. *Br J Sports Med* 43 (2009), 169-171
- [8] Debrunner, A. M.: *Orthopädie, Orthopädische Chirurgie – Patientenorientierte Diagnostik und Therapie des Bewegungsapparates*, 4. Aufl., Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 2005
- [9] D'hondt, N. E., P. A. A. Struijs, G. M. M. J. Kerkhoffs, C. Verheul, R. Lysens, G. Aufdemkampe, C. N. Van Dijk: Orthotic devices for treating patellofemoral pain syndrome (Cochrane Review). In: *The Cochrane Library*, Issue 4. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2003
- [10] Eickhoff, C. A., S. A. Hossain, D. P. Slawski: Effects of prescribed foot orthoses on medial tibial stress syndrome in collegiate cross-country Runners. *Clin Kinesiol* 54 (2000), 76-80
- [11] Gross, M. L., L. B. Davlin, P. M. Evanski: Effectiveness of orthotic shoe inserts in the long-distance runner. *Am J Sports Med* 19 (1991), 409-412
- [12] Gross, M. L., R. C. Napoli: Treatment of lower extremity injuries with orthotic shoe inserts. An Overview. *Sports Med* 15 (1993), 66-70
- [13] Hintermann, B., B. M. Nigg: Pronation in runners. *Sports Med* 26 (1998), 169-176
- [14] Hirschmüller, A., H. Baur, S. Müller, P. Helwig, H. H. Dickhuth, F. Mayer: Clinical effectiveness of customized sport shoe orthoses for overuse injuries in runners – a randomised controlled study. *Br J Sports Med*. Published Online First (Open Access): 12 August 2009. doi:10.1136/bjism.2008.055830
- [15] Hume, P., W. Hopkins, K. Rome, P. Maulder, G. Coyle, B. M. Nigg: Effectiveness of foot orthoses for treatment and prevention of lower limb injuries: a Review. *Sports Med* 38 (2008), 759-779
- [16] Kilmartin, T. E., W. A. Wallace: The scientific basis for the use of biomechanical foot orthoses in the treatment of lower limb sports injuries – a review of the literature. *Br J Sports Med* 28 (1994), 180-184
- [17] Landorf, K. B., A. M. Keenan: Efficacy of foot orthoses. What does the literature tell us? *J Am Podiatr Med Assoc* 90 (2000), 149-158
- [18] Mayer, F., S. Grau, W. Baurle, O. Müller, H. Baur, T. Horstmann, H. H. Dickhuth: *Verletzungen und Überlastung im Laufsport: Prävention und Rehabilitation*. *Dt Ärztebl* 98 (2001), A1254-A1259
- [19] Mayer, F., A. Hirschmüller, S. Müller, M. Schubert, H. Baur: The effects of short term treatment strategies over 4 weeks in Achilles tendinopathy. *Br J Sports Med* 41 (2007), 7:e6
- [20] Miller, J. E., B. M. Nigg, W. Liu, D. J. Stefanyshyn, M. A. Nurse: Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort. *Foot Ankle Int* 21 (2000), 759-767
- [21] Mündermann, A., D. J. Stefanyshyn, B. M. Nigg: Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001), 1939-1945
- [22] Mündermann, A., B. M. Nigg, R. N. Humble, D. J. Stefanyshyn: Foot orthotics affect lower extremity kinematics and kinetics during running. *Clin Biomech* 18 (2003), 254-262
- [23] Mündermann, A., J. M. Wakeling, B. M. Nigg, R. N. Humble, D. J. Stefanyshyn: Foot orthoses affect frequency components of muscle activity in the lower extremity. *Gait Posture* 23 (2006), 295-302
- [24] Nawoczenski, D. A., D. J. Janisse: Foot orthoses in rehabilitation – What's new. *Clin Sports Med* 23 (2004), 157-167
- [25] Nigg, B. M., G. K. Cole, W. Nachbauer: Effects of arch height of the foot angular motion of the lower extremities in running. *J Biomech* 26 (1993), 909-916
- [26] Nigg B. M., A. Khan, V. Fisher, D. J. Stefanyshyn: Effects of shoe insert construction on foot and leg movement. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998), 550-555
- [27] Nigg, B. M., M. A. Nurse, D. J. Stefanyshyn: Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999), 421-428
- [28] Nigg, B. M.: The role of impact forces and foot pronation: a new paradigm. *Clin J Sport Med* 11 (2001), 2-9
- [29] Nigg, B. M., P. Stergiou, G. Cole, D. J. Stefanyshyn, A. Mündermann, N. Humble: Effect of shoe inserts on kinematics, center of pressure and leg joint moments during running. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003), 314-319
- [30] Razeghi, M., M. E. Batt: Biomechanical analysis of the effect of orthotic shoe inserts. *Sports Med* 29 (2000), 425-438
- [31] Reinschmidt, C., A. J. Van den Bogert, A. Lundberg, B. M. Nigg, N. Murphy, A. Stacoff, A. Stano: Tibiofemoral and tibio-calcaneal motion during walking: external vs. skeletal markers. *Gait Posture* 6 (1997), 98-109
- [32] Schwellnus, M. P., G. Jordaan, T. D. Noakes: Prevention of common overuse injuries by the use of shock absorbing insoles. A prospective study. *Am J Sports Med* 18 (1990), 636-641
- [33] Stacoff, A., C. Reinschmidt, B. M. Nigg, A. J. Van den Bogert, A. Lundberg, J. Denoth, E. Stüssi: Effects of foot orthoses on skeletal motion during running. *Clin Biomech* 15 (2002), 54-64