

Wirkungsweise und Wirksamkeit von Einlagen

Arne Nagel: *Dieser Artikel soll einen Überblick über den aktuellen Stand und neue Ansätze in der biomechanischen Forschung geben mit der Zielsetzung, ein gesteigertes Bewusstsein über Möglichkeiten und Einschränkungen der Einlagenversorgung zu vermitteln. In diesen Überblick gehen nur Studien mit individuell angefertigten Einlagen ein. Frei verkäufliche vorgefertigte Standardeinlagen sind nicht berücksichtigt worden.*

Bei der konservativen Behandlung von Patienten mit Fußproblemen genießt die Einlagenversorgung einen hohen Stellenwert. Schon 1889 versuchte Whitman mit einer Einlage aus Metallblech einen Pes Planovalgus zu korrigieren und begründete damit den Einzug der Einlage in die Versorgung von Fußbeschwerden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Einlagen bei diversen Beschwerdebildern als einfache und kostengünstige Maßnahme zu einer Verbesserung der Situation von Patienten mit Fußproblemen führen (Nicolopoulos et al. 2000). Was in der Praxis in vielen Fällen eine Verbesserung der Beschwerdesymptomatik bringt, ist wissenschaftlich aber noch nicht belegt. Brüggemann (2004) stellt fest, dass die Wirkungsmechanismen von Einlagen und einzelnen Einlagenkomponenten nicht völlig geklärt sind. Die Verständnislücke zwischen der angewandten Maßnahme

und der tatsächlich bewirkten Veränderung konnte bis heute nicht geschlossen werden, was zum einen Teil an dem breiten Spektrum an unterschiedlichen Einlagen liegt, die in den Studien eingesetzt wurden (Razeghi et al. 2000). Andererseits scheint die individuelle Reaktion des Menschen auf eine Einflussnahme durch die Einlage ein großes Hindernis für das Verständnis für deren Wirkungsmechanismus zu sein. Das Bewusstsein über die komplexe Beziehung zwischen Interventionsmaßnahme und der Reaktion des menschlichen Körpers darauf hat zu neuen Denk- und Untersuchungsansätzen geführt. Nigg und Mitarbeiter (1999) schlagen deshalb ein neues Konzept für die Einlagenversorgung vor, dem die Annahme eines individuellen bevorzugten Bewegungsmusters zugrunde liegt, welches durch die Einlage unterstützt werden sollte. Die Bildung von Gruppen mit gleichen Eigen-

schaften und Ansprüchen an die Versorgung stellt in diesem Zusammenhang die aktuelle Herausforderung dar.

Einlagen werden zurzeit unter verschiedenen Zielsetzungen eingesetzt. Primär versuchen sie, die Belastung zu reduzieren und/oder den Bewegungsablauf zu korrigieren. Dies soll durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Ausrichtung des Fußskeletts sowie der darüber liegenden knöchernen Strukturen und Gelenke,
- Verminderung von lokalen Überbelastungen und
- Aktivierung der stabilisierenden Muskulatur.

Dazu werden verschiedenste Komponenten wie Pelotten, Längsgewölbestützen oder spezielle Polster in verschiedenen Materialien in die Einlagen eingearbeitet. Die derzeit vorliegenden Studien zur Untersuchung der Wirkungsmechanismen unterscheiden sich unter anderem im Design (prospektiv vs. retrospektiv, Querschnitts- vs. Längsschnittstudien), in der Wahl der erfassten Parameter (Bodenreaktionskräfte, 2- bzw. 3-dimensionale Bewegung, EMG etc.), der Form, Funktionalität und Lokalisation der eingesetzten Intervention (Material, Pelotten/ Stützelemente etc.) sowie in Anwendungsgebiet und Fragestellung (Abb.1).

Ausrichtung des Fußskeletts

Schon in den Anfängen der Einlagenversorgung wurde die Ausrichtung des Fußes und seines Knochengerüsts angestrebt. Diese Zielsetzung wird auch heute noch verfolgt. Je nach angestrebtem Wirkungsort (Vor-, Mittel- oder Rückfuß) und -zweck (Korrigieren, Stützen, Betten/Dämpfen) werden verschiedene Elemente eingesetzt, die sich in Form, Größe und Materialhärte unterscheiden können.

Maßnahmen zur Vorfußversorgung

Zur Versorgung von Schmerzen und Problemen im Vorfußbereich werden Pelotten in mehreren Ausführungen benutzt (Abb. 2). Neben der klassischen Tropfenform für eine punktuelle



1 Übersicht zum unterschiedlichen Aufbau von Studien zur Wirkung und Effektivität von Einlagen.

Wirkung kommen nierenförmige Pelotten zum Einsatz, die eine breitere Unterstützung proximal der Metatarsalköpfe geben. Außerdem kann eine so genannte Stufenbettung eingesetzt werden, um den Vorfuß in der gesamten Breite zu entlasten.

Die Position von Pelotten ist entscheidend für die Effektivität und den Komfort einer Einlage. Wird die richtige Pelotte zu weit unterhalb der Metatarsalköpfchen angebracht – oder wird eine ungeeignete Form gewählt – kann dies den Tragekomfort deutlich schmälern und im schlimmsten Falle das Gegenteil des bezweckten Effektes auslösen. So kann der Einsatz von Pelotten eine tendenzielle Erhöhung der Druckbelastung unterhalb der Mittelfußköpfchen verursachen (Chang et al. 1994). Gleichermaßen kann eine zu weit proximal von den Metatarsalköpfchen angesetzte Pelotte die angestrebte Druckentlastung nur unzureichend erreichen (Hsi et al., 2005). Eine effektive Druckentlastung der Metatarsalköpfchen um bis zu 60 Prozent durch richtig positionierte Pelotten konnte bereits nachgewiesen werden (Holmes et al. 1990). Dabei zeigte die am dichtesten hinter den Metatarsalköpfchen positionierte Pelotte die effektivste druckentlastende Wirkung (Hayda et al. 1994). Die plantare Druckverteilungsmessung eignet sich zur Erkennung der Zone des maximalen Spitzendrucks unterhalb der Metatarsalköpfchen und bietet damit einen guten Anhaltspunkt zur Positionierung der Pelotte (Hsi et al. 2005). Eine Reduktion des Vorfußschmerzes bei Metatarsalgie kann bei Anwendung von halbfesten Einlagen erreicht werden (Chalmers et al. 2000). Das Tragen von weichen Einlagen zeigte keinen nachweislichen Erfolg.

Für die Versorgung von Zehenbeschwerden wie zum Beispiel Hallux valgus-Deformitäten durch Einlagen liegt zurzeit keine wissenschaftliche Basis vor. Keine Studie konnte die Effektivität von Einlagen zur Korrektur beziehungsweise Verbesserung der Hallux valgus-Probleme nachweisen (Ferrari et al. 2004).

Maßnahmen zur Versorgung des Mittelfußes

Die Versorgung des Mittelfußes konzentriert sich hauptsächlich auf die Abstützung des medialen Längsgewölbes, um im Falle eines Pes planus oder planovalgus ein Absenken und die damit verbundenen Folgen zu verhindern. Untersuchungen an Leichenfüßen liefern einen tieferen Einblick in die Wirkung von Einlagen auf die knöchernen Strukturen des Mittelfußes und der Fußwurzel. An neun Leichenfüßen konnte eine erkennbare Abstützung des Längsgewölbes durch Einlagen nachgewiesen werden, jedoch ohne dass die Ausgangshöhe gehalten werden konnte (Kitaoka et al. 2005). Neben der unterstützenden Wirkung auf das Längsgewölbe zeigte sich ebenfalls die Möglichkeit zur effektiven Spannungsverringern in der Plantaraponeurose durch Einlagen (Kogler et al. 1995). Der Schuh ohne Einlage wies hingegen weder unterstützende noch spannungsverringernde Effekte auf.

Bei Messungen am Probanden steht ebenfalls die Längsgewölbehöhe im Blickpunkt der Betrachtung. Im Rahmen einer (dreidimensionalen) Bewegungsanalyse wird die Bewegung des Fußes und seiner einzelnen Segmente im natürlichen Belastungs- und Abroll-

vorgang erfasst, was bei Studien an Leichenfüßen nur eingeschränkt möglich ist. Dies ist unter anderem bei der Patientengruppe der Rheumatiker von Bedeutung, bei der ein um drei Millimeter tiefer abgesunkenes Längsgewölbe festgestellt wurde als bei einer Kontrollgruppe (Woodburn et al. 2004). Die Effektivität von Einlagen zur Abstützung des Längsgewölbes bei dieser Patientengruppe wird zurzeit vom Universitätsklinikum Münster untersucht (eigene Untersuchungen).

Maßnahmen zur Versorgung des Sprunggelenkkomplexes (Rückfuß und Tibia)

Vor allem die Ausrichtung und Stabilisierung des Sprunggelenkkomplexes mit medial und/oder lateral angelegten Elementen ist ein häufiges Anliegen einer Einlagenversorgung. Die mediale Abstützung unterhalb des Längsgewölbes beziehungsweise des Sustentaculum Tali zur Stabilisierung der Rückfußversion und der Innenrotation der Tibia ist ein oft untersuchter Vorgang mit unterschiedlichen Ergebnissen. Eine Verringerung der Tibiainnenrotation ließ sich in einigen Studien nachweisen (McPoil et al. 2000, Nester et al. 2003). Die Stabilisierung der Rückfußversion durch medial gestützte Einlagen konnten Mündermann und Mitarbeiter (2003) feststellen. Die Effekte von lateral gestützten Einlagen konnten mit einer Vergrößerung der Tibiainnenrotation (Tillman et al. 2003, Nester et al. 2003) und einer Medialisierung der Ganglinie beziehungsweise des „Center of Pressure“ (Nigg et al. 2003) beschrieben werden. Weiterhin ist eine Vergrößerung

Thomas Echment

Das Prinzip Einfach

Kümmern Sie sich um Ihren Kunden.
Sonst macht es der Wettbewerb.

Gutes Marketing kann so einfach sein

An den Möglichkeiten und Bedürfnissen eines Handwerkunternehmens orientiert sich der Marketing-Fachmann Thomas Echment in seinem Buch „Das Prinzip Einfach“. Darin geht es um das kleine Einmaleins des Märktens. Seine dringende Empfehlung: Das Handwerk soll sich zum Ziel setzen, für begeisterte oder mindestens für zufriedene Kunden zu sorgen. Denn nur mit solchen Kunden lässt sich weiter rechnen! Das Buch ist eine leicht lesbare Anleitung, wie der Unternehmer Schritt für Schritt seine Vertrauensbrücken baut und Beziehungsnetzwerke entstehen lässt.

Verlag C. Maurer, Mai 2004
112 Seiten, Hardcover, Format 17 x 24 cm
ISBN 3-87517-023-7. Preis: 26 Euro



Ja, ich bestelle ___ Exemplare des Buches
„Das Prinzip Einfach“.

Name, Vorname _____

Strasse, Postfach _____

PLZ, Ort _____

Telefon, unbedruckt _____

Bitte diesen Bestellcoupon ausschneiden und an uns schicken oder noch besser:

Gleich faxen
0 73 31/9 30-1 90

Bestellen Sie bei:

C. Maurer Druck und Verlag,
Postfach 1361,
73303 Geislingen/Steige,
Telefon 0 73 31/9 30-1 00,
Telefax 0 73 31/9 30-1 90
E-Mail: loepf@maurer-online.de



2 Verschiedene Pelotten zur Abstützung der Metatarsalknochen.

des plantaren Drucks unterhalb der medialen Fußbereiche durch laterale Keile unter dem Vor- und Rückfuß nachweisbar (Van Gheluwe, 2004).

Andere Studien kamen nicht zu eindeutigen Ergebnissen sondern stellten eine große Variationsbreite von Reaktionen auf Einlagen fest, aus denen keine systematischen Einflüsse auf das Bewegungsmuster des Sprunggelenk-komplexes abzuleiten waren (Stackhouse et al. 2000, Nigg et al. 2003, Nigg et al. 1998, Stacoff et al. 2000).

Maßnahmen zur Beeinflussung der Kniebewegung und -belastung

Über komplexe mathematische Modelle lassen sich auf der Basis der auftretenden Bodenreaktionskräfte unter Zuhilfenahme von Bewegungsdaten die Kraft- und Drehmomentbelastungen der höher liegenden Gelenke berechnen. Die Beeinflussung der Kniebewegung und die damit angestrebte Reduzierung der Gelenkbelastung sind eng mit der Stabilisierung des Rückfußes und der Tibiarotation verknüpft. Mediale und laterale Keile im Rückfußbereich können die auftretenden Gelenkmomente im Knie verändern: das Abduktionsmoment kann sich bei medialen Keilen erhöhen und bei lateralen Keilen verringern (eigene Untersuchungen). Eine Reduzierung der Belastung im Femoropatellargelenk durch Einlagen erwies sich allerdings als nicht so groß wie die Effekte durch Krafttraining für den medialen Anteil des Oberschenkelmuskels (Neptune et al. 2000). Weiterhin zeigt sich eine Erhöhung der Aktivität des Oberschenkelmuskels durch Einlagen während langsamer kontrollierter Kräftigungsübungen (Hertel et al. 2005). Bei schnellen explosiven Übungen konnte dieser Effekt nicht bestätigt werden.

Andere Untersuchungen konnten keine klaren Ergebnisse darstellen. Nester und Mitarbeiter (2003) stellten nur minimale Effekte im Kniegelenk bei der Nutzung von medialen und lateralen Keilen fest. Für die Effektivität von Einlagen bei der Versorgung von Osteoarthritis konnte bislang kein Nachweis erbracht werden (Brouwer et al. 2005).

Verminderung der Fußbelastung

Die Verwendung von unterschiedlichen Materialien bei der Gestaltung von Einlagen erlaubt eine variable Unterstützung beziehungsweise Entlastung des Fußes. So haben sich zum Beispiel individuell angepasste Einlagen in der Prävention von Ulzera bei Diabetikern als hilfreich erwiesen, auch wenn keine bestimmte Art von Einlagen empfohlen werden kann (Spencer 2000). Andere Studienergebnisse empfehlen ebenfalls individuell angepasste Einlagen um die Kontaktfläche des gesamten Fußes zu erhöhen und damit Spitzendrücke zu mildern (Albert et al. 1994, Li et al. 2000). Durch langlebigere Materialien kann die Versorgung noch effektiver gestaltet werden (Jahn 2004).

Die wissenschaftliche Evidenz für die Effektivität von Einlagen zur Verringerung der Fußbelastung ist aber in vielerlei Hinsicht immer noch unzureichend. Einige Studien stellen keinen Zusammenhang zwischen der Intervention durch die Einlage und der Fußbelastung fest (Butler et al. 2003). Es herrscht keine Klarheit darüber, ob dämpfende Einlagen das Auftreten von Stressfrakturen im Unterschenkel oder Mittelfuß verringern können (Rome et al. 2005). Außerdem konnte bis heute kein Einfluss auf das Phänomen des Fersenschmerzes nachgewiesen werden (Crawford et al. 2000).

Afferenzstimulierende Einlagen

Die Beeinflussung der Muskelaktivität ist ein weiteres Ziel der Einlagenversorgung. Jede Einflussnahme auf den Körper führt zu einer neuromuskulären Anpassung, die sich in veränderten Aktivitätsmustern der beteiligten Muskulatur ausdrückt (Jahrling 2003, Vogt et al. 2005, Kimmeskamp et al. 2002). Die Reduzierung der afferenten Signale der Fußsohle zum Beispiel durch Abkühlung des Fußes mit Eiswasser bewirkt eine deutlich reduzierte Fuß-

belastung bei nachweislich verändertem Bewegungsablauf (Eils et al. 2002, Eils et al. 2004). Außerdem können Winkelstellungen in Gelenken bei der Verwendung einer Sohle mit aufgerauter Oberflächenstruktur besser reproduziert werden als bei Sohlen mit glatter Oberfläche (Waddington et al. 2003). Diese Mechanismen machen sich afferenzverändernde Einlagen zunutze, um einzelne Muskelgruppen gezielt zu aktivieren oder zu hemmen und damit systematisch in den Bewegungsablauf einzugreifen. Ludwig und Mitarbeiter (2004) wiesen in Einzelfalluntersuchungen eine verstärkte Aktivität der Peronealmuskulatur durch laterale Druckpunkte nach. Mediale Druckpunkte bewirkten eine Zunahme der Aktivität des vorderen Schienbeinmuskels, welche sich allerdings auch in abgeschwächter Form durch eine konventionelle Sporteinlage einstellte. Bei Kindern mit Zerebralparese konnten Verbesserungen der Balancefähigkeit durch afferenzstimulierende Einlagen festgestellt werden (Burtner et al. 1999, Wang et al. 2005).

Zusammenfassung/Ausblick

Trotz des Nachweises der Wirkung spezieller Maßnahmen in einzelnen Studien gelingt es nicht, ein stimmiges Gesamtbild zu entwerfen, an dem sich die Gestaltung von Einlagen orientieren kann. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Studien hinsichtlich des Studiendesigns beeinträchtigen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Ein weiteres Problem stellt die Unterschiedlichkeit der getesteten Einlagen dar. Jede Studie verwendet eigene Einlagen, die sich in Form, Material und Eigenschaften von anderen unterscheiden. Die Variationsbreite von Einlagen ist sehr groß, so dass es schwierig ist, einheitliche Kriterien und Maßstäbe festzulegen. Neben diesen Aspekten sorgt die oftmals geringe Probandenzahl für nicht aussagekräftige Ergebnisse. Solche Studien verbieten Rückschlüsse auf die gesamte Bevölkerung. Ein weiterer Kritikpunkt sind die wenig praxisorientierten Fragestellungen der Studien, die wenig konkrete Empfehlungen für die Praxis der Einlagengestaltung zulassen. Studien wie von Hsi und Mitarbeitern (2005) zur optimalen Positionierung von Pelotten sind die seltene Ausnahme. Die genannten Faktoren tragen dazu bei, dass wider-

sprüchliche Ergebnisse verschiedener Studien mit ähnlicher Zielsetzung aufzutreten.

Ein Schritt zur Verbesserung der Studienergebnisse könnte in der Weiterentwicklung der Messmethoden liegen. Die Verbesserung der Messgenauigkeit ist in den letzten Jahren unter anderem in der dreidimensionalen Bewegungsanalyse stetig voran geschritten. Ein grundsätzliches Problem aber bleibt, denn die Übertragbarkeit der oberflächlich gemessenen Daten auf die im Körper liegenden Strukturen ist immer noch eine Annäherung an die Realität und damit mehr oder weniger stark fehlerbehaftet (Stacoff et al. 2000). Die Entwicklung von Finite-Elemente-Modellen zur Bestimmung der Fußbelastung (Goske et al. 2005, Erdemir et al. 2005, Cheung et al. 2005) könnte diese Lücke schließen. Zusätzlich stellt sich der Mensch mit seiner individuellen motorischen Entwicklungsgeschichte als schwer einzuschätzender Faktor heraus, der die Erkennung von Systematiken erschwert. Die Zusammenstellung von Probandengruppen, die ähnliche Reaktionsmuster zeigen und Gemeinsamkeiten in der (sportlichen) Bewegungsentwicklung haben, könnte die Suche nach systematischen Effekten erleichtern (Nigg et al. 1999, Nigg et al. 2003).

Abschließend lässt sich sagen, dass die ersten Schritte auf dem Weg zur evidenzbasierten Einlagenversorgung gemacht sind. Einzelne Maßnahmen haben sich als effektiv in ihrer direkten Wirkung erwiesen. Es gilt aber weiterhin, dass die komplexen biomechanischen und neuromuskulären Zusammenhänge und Wechselwirkungen von verschiedenen Interventionen noch nicht verstanden sind und weiterer Klärung bedürfen. Bis dahin empfiehlt es sich, die Versorgung auf der Basis der etablierten Forschungsergebnisse und der eigenen Erfahrung durchzuführen.]

● ● Anschrift des Verfassers:

Arne Nagel
Funktionsbereich Bewegungs-
analytik, Klinik und Poliklinik für
Allgemeine Orthopädie, Universitätsklinikum Münster
Domagkstr. 3
48129 Münster

Literatur:

- Albert, S. and C. Rinoie, Effect of custom orthotics on plantar pressure distribution in the pronated diabetic foot. *J Foot Ankle Surg*, 1994. 33(6): p. 598-604.
- Brouwer, R.W., et al., Braces and orthoses for treating osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database Syst Rev*, 2005(1): p. CD004020.
- Brüggemann, G.P., Einlagenversorgung im Sport - Wissenschaftliche Evidenz und Wirkungsmechanismen von Einlagen. *Orthopädieschuhtechnik*, 2004. Sonderheft Einlagen 2004: p. 28-35.
- Burtner, P.A., M.H. Woollacott, and C. Qualls, Stance balance control with orthoses in a group of children with spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 1999. 41(11): p. 748-57.
- Chalmers, A.C., et al., Metatarsalgia and rheumatoid arthritis—a randomized, single blind, sequential trial comparing 2 types of foot orthoses and supportive shoes. *J Rheumatol*, 2000. 27(7): p. 1643-7.
- Chang, A.H., et al., Multistep measurement of plantar pressure alterations using metatarsal pads. *Foot & Ankle*, 1994. 15(12): p. 654-660.
- Cheung, J.T. and M. Zhang, A 3-dimensional finite element model of the human foot and ankle for insole design. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005. 86(2): p. 353-8.
- Crawford, F., D. Atkins, and J. Edwards, Interventions for treating plantar heel pain. *Cochrane Database Syst Rev*, 2000(3): p. CD000416.
- Eils, E., et al., Modified pressure distribution patterns in walking following reduction of plantar sensation. *J Biomech*, 2002. 35(10): p. 1307-13.
- Eils, E., et al., Reduced plantar sensation causes a cautious walking pattern. *Gait Posture*, 2004. 20(1): p. 54-60.
- Erdemir, A., et al., Local plantar pressure relief in therapeutic footwear: design guidelines from finite element models. *J Biomech*, 2005. 38(9): p. 1798-806.
- Ferrari, J., J.P. Higgins, and T.D. Prior, Interventions for treating hallux valgus (abductovalgus) and bunions. *Cochrane Database Syst Rev*, 2004(1): p. CD000964.
- Goske, S., et al., Reduction of plantar heel pressures: Insole design using finite element analysis. *J Biomech*, 2005.
- Hayda, R., et al., Effect of metatarsal pads and their positioning: a quantitative assessment. *Foot Ankle Int*, 1994. 15(10): p. 561-6.
- Hertel, J., B.R. Sloss, and J.E. Earl, Effect of foot orthotics on quadriceps and gluteus medius electromyography activity during selected exercises. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005. 86: p. 26-30.
- Holmes, G.B., Jr. and L. Timmerman, A quantitative assessment of the effect of metatarsal pads on plantar pressures. *Foot Ankle*, 1990. 11(3): p. 141-5.
- Hsi, W.L., J.H. Kang, and X.X. Lee, Optimum position of metatarsal pad in metatarsalgia for pressure relief. *Am J Phys Med Rehabil*, 2005. 84(7): p. 514-20.
- Jahn, M., Vorhersage von Materialeigenschaften für die diabetische Fußversorgung. *Orthopädie Schuhtechnik*, 2004. 11: p. 38-45.
- Jahrling, L., Das sensomotorische Einlagenkonzept nach Lothar Jahrling. *Orthopädie Schuhtechnik*, 2003. 6: p. 36-43.
- Kimmeskamp, S. and T. Milani, Afferenzstimulierende Einlagenversorgung - der Versuch einer physiologisch begründeten Begriffserklärung. *Orthopädie Schuhtechnik*, 2002. 10: p. 24-31.
- Kitaoka, H.B., et al., Effect of foot orthoses on 3-dimensional kinematics of flatfoot: a cadaveric study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002. 83(6): p. 876-9.
- Kogler, G.F., S.E. Solomonidis, and J.P. Paul, In vitro method for quantifying the effectiveness of the longitudinal arch support mechanism of a foot orthosis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 1995. 10(5): p. 245-252.
- Li, C.Y., et al., Biomechanical evaluation of foot pressure and loading force during gait in rheumatoid arthritic patients with and without foot orthosis. *Kurume Med J*, 2000. 47(3): p. 211-7.
- Ludwig, O., Fuhr, N., Änderung der muskulären Aktivität durch propriozeptiv wirkende Einlagen. *Orthopädieschuhtechnik*, 2004. 12: p. 13-18.
- McPoil, T.G. and M.W. Cornwall, The effect of foot orthoses on transverse tibial rotation during walking. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2000. 90(1): p. 2-11.
- Mündermann, A., et al., Foot orthotics affect lower extremity kinematics and kinetics during running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2003. 18(3): p. 254-62.
- Neptune, R.R., I.C. Wright, and A.J. van den Bogert, The influence of orthotic devices and vastus medialis strength and timing on patellofemoral loads during running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2000. 15(8): p. 611-8.
- Nester, C.J., M.L. van der Linden, and P. Bowker, Effect of foot orthoses on the kinematics and kinetics of normal walking gait. *Gait Posture*, 2003. 17(2): p. 180-7.
- Nicolopoulos, C.S., Scott, B.W., Giannoudis, P.V., Biomechanical basis of foot orthotic prescription. *Foot & Ankle*, 2000. 14: p. 464-469.
- Nigg, B.M., et al., Effect of shoe insert construction on foot and leg movement. *Med Sci Sports Exerc*, 1998. 30(4): p. 550-5.
- Nigg, B.M., M.A. Nurse, and D.J. Stefanyshyn, Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Med Sci Sports Exerc*, 1999. 31(7 Suppl): p. S421-8.
- Nigg, B.M., et al., Effect of shoe inserts on kinematics, center of pressure, and leg joint moments during running. *Med Sci Sports Exerc*, 2003. 35(2): p. 314-9.
- Razeghi, M. and M.E. Batt, Biomechanical analysis of the effect of orthotic shoe inserts: a review of the literature. *Sports Med*, 2000. 29(6): p. 425-38.
- Rome, K., H.H. Handoll, and R. Ashford, Interventions for preventing and treating stress fractures and stress reactions of bone of the lower limbs in young adults. *Cochrane Database Syst Rev*, 2005(2): p. CD000450.
- Spencer, S., Pressure relieving interventions for preventing and treating diabetic foot ulcers. *Cochrane Database Syst Rev*, 2000(3): p. CD002302.
- Stackhouse, C.L., I.M. Davis, and J. Hamill, Orthotic intervention in forefoot and rearfoot strike running patterns. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2004. 19(1): p. 64-70.
- Stacoff, A., et al., Effects of foot orthoses on skeletal motion during running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2000. 15(1): p. 54-64.
- Tillmann, M.D., et al., Tibiofemoral rotation in landing: the influence of medially and laterally posted orthotics. *Phys Ther in Sports*, 2003. 4: p. 34-39.
- Van Gheluwe, B. and H.J. Dananberg, Changes in plantar foot pressure with in-shoe varus or valgus wedging. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2004. 94(1): p. 1-11.
- Vogt, L. and W. Banzer, Intrumentelle Ganganalyse. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2005. 56(4): p. 108-109.
- Waddington, G. and R. Adams, Football boot insoles and sensitivity to extent of ankle inversion movement. *Br J Sports Med*, 2003. 37(2): p. 170-4.
- Wang, R.Y., et al., Effects of an ankle-foot orthosis on balance performance in patients with hemiparesis of different durations. *Clin Rehabil*, 2005. 19(1): p. 37-44.
- Woodburn, J., et al., Multisegment foot motion during gait: proof of concept in rheumatoid arthritis. *J Rheumatol*, 2004. 31(10): p. 1918-27.