

## Sportorthopädie

L. Öksüz

# Der Effekt dynamischer Carbon-Einlagen im Laufsport

The Effect of Dynamic Carbon Insoles in Running Sports

**Hintergrund:** Ziel der wissenschaftlichen Untersuchung war es, die Auswirkungen dynamischer Carbon-Einlagen auf Laufsportler aufzuzeigen, die an Knie- oder Achillessehnenbeschwerden leiden. **Material und Methoden:** Insgesamt wurden bei 26 Probanden Laufanalysen durchgeführt. Im Anschluss wurde der Einfluss der Einlagen auf die Hüftrotation und die Fußbelastungen im Schuh ausgewertet. Die Messdaten wurden mit dem Inertialsensorsystem „MyoMotion“ (Noraxon) und dem Innensohlenmesssystem „vebitoSCIENCE“ (Vebito) erfasst. **Ergebnisse:** Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei männlichen und weiblichen Probanden Hüftinnenrotation sowie Eversion durch die Einlage reduzieren lassen. Auch die Biege- und Torsionsmomente an Ferse und Metatarsophalangealgelenk (MTP) 5 wurden verringert. Keinen signifikanten Einfluss hat die Einlage dagegen auf die Fußbelastungen am MTP 1. **Schlussfolgerung:** Bei Sportlern mit speziellen Beschwerden ist eine Laufanalyse absolut empfehlenswert. Carbon-Einlagen können das Gangbild des Läufers im Hinblick auf Fußbelastungen, Sprunggelenksbewegung und Hüftrotation optimieren.

**Schlüsselwörter:** Carbon-Einlage, Laufbandanalyse, Laufsport, Achillessehnenbeschwerden, Patellofemorales Schmerzsyndrom

**Background:** This study was carried out to examine the benefits of dynamic carbon insoles for runners suffering from Achilles tendon pain or knee pain. **Materials and Methods:** A treadmill analysis was performed in 26 subjects. The effects of carbon insoles on hip rotation and foot stresses in the shoe were then determined. The data

were recorded by the MyoMotion (Noraxon) inertial sensor system and the vebitoSCIENCE (Vebito) insole measurement system. **Results:** The results showed that hip internal rotation and ankle eversion were reduced in male and female subjects by the insole. The bending and torsional moments at the heel and the metatarsophalangeal joint (MTP) 5 were also reduced. No significant effect on foot stress at MTP 1 was detected. **Conclusion:** A treadmill analysis is highly recommended for athletes with specific symptoms. Carbon insoles can optimise the runner's gait pattern regarding bending and torsional stress at the foot, ankle motion, and hip rotation.

**Key words:** carbon insole, treadmill analysis, running, Achilles tendon pain, patellofemoral pain syndrome

## Einleitung

Laufen begeistert. Menschen jeden Alters, aus sämtlichen Leistungsklassen und aus allen Bevölkerungsschichten laufen. Es ist die natürliche Bewegungsform des Menschen, und viele haben diesen Sport in den letzten Jahren für sich entdeckt. Obwohl viele Menschen das Projekt „Laufen“ angehen, halten es nur wenige durch. Häufig klagen Sportler über orthopädische Probleme, die ihr Laufen erschweren.

Die Basis einer optimalen Versorgung sind umfassende Lauf- und Bewegungsanalysen. Viele Sportler entscheiden sich aufgrund wiederkehrender Schmerzen am beziehungsweise rund um das Kniegelenk und der Achillessehne für eine Laufanalyse. Für die Schmerzen, deren Lokalisation die Kniescheibe und das Patellagleitlager sowie das Bindegewebe betreffen, lautet die häufigste

Diagnose des Arztes: „Patellofemorales Schmerzsyndrom“ (PFSS). Achillessehnenbeschwerden rühren häufig aus der starken Beanspruchung der Achillessehne, die diese beim Lauftraining erfährt.

Vorangegangene Studien untersuchten die Schmerzursachen und konnten in diesem Zusammenhang eine vermehrte Innenrotation der Hüfte und Instabilitäten des unteren Sprunggelenks nachweisen [1, 2, 3]. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, wie diese Faktoren durch eine schnelle und praktische Versorgung positiv beeinflusst werden können.

Außerdem zeigte bereits Kraus im Jahr 1973, dass Statik und Beanspruchbarkeit einer Fußwölbung unter anderem von ihrer Bogenhöhe abhängig sind. „Flachfüße mit geringem Bogenwert beanspruchen ihre plantare Verspannung weit mehr als hochgesprengte Füße, die Neigung zur Deformierung ist also bei ihnen stärker“, so Kraus [4]. Die Höhe der Fußwölbung ist unter anderem von der Stellung des Rückfußes abhängig. Diese wiederum wird durch Kräfteeinwirkungen in Größe und Richtung beeinflusst, die von der individuell unterschiedlichen und auch pathologischen Statik und Kinetik der gesamten unteren Extremität ausgehen. Jede Analyse der Fußstatik muss also die gesamte Becken-Bein-Statik einbehalten.

Hohmann et al. beschrieben 2004, dass alle Bewegungen in den Fußgelenken durch die schräg verlaufenden Bewegungsachsen der Gelenke nur als Kombinationsbewegung möglich seien: „Eine belastete Einwärtsdrehung des Unterschenkels lässt den Talus nach plantar-medial ausweichen, die plantare Fläche gerät in relative Abduktion, die Ferse in Pronation und unter Supination des Vorfußes flacht sich der mediale Längsbogen deutlich ab. Die

zumindest vorübergehenden schnellen Versorgung gewünscht. Bei Sportlern, die unter einem der hier behandelten Beschwerdebilder leiden, sind eine Ganganalyse und eine genaue Betrachtung der Bewegungsabläufe deshalb absolut empfehlenswert. Der Vorteil der Carbon-Einlage besteht darin, dass ein kleiner Effekt sofort messbar ist. Durch die Carbon-Einlage kann das Gangbild des Läufers zumindest im Hinblick auf Fußbelastungen, Sprunggelenksbewegung und Hüftrotation optimiert werden.

### Die Autorin:

Linda Öksüz  
Medi GmbH & Co. KG  
Footcare  
Elbringhausen 2+4  
42929 Wermelskirchen  
Loeksuez@medi.de

Begutachteter Beitrag/reviewed paper

gewiesen werden, die in den Studien von Lorimer et al. [1], Reule et al. [2] und Souza et al. [3] als mögliche Ursachen für Achillessehnenbeschwerden oder -verletzungen und das Patellofemorale Schmerzsyndrom identifiziert wurden.

### Hüfte

Der zweite zu untersuchende Parameter betraf die Verminderung der Hüftinnenrotation während des Laufens. Zwar zeigen die Ergebnisse nur geringe Abweichungen, dennoch sind diese Abweichungen stetig und bei fast allen Probanden nachgewiesen worden (Abb. 5 u. 6).

Der Laufschuh alleine hatte bei beiden Probandengruppen keinen signifikanten Einfluss auf die Rotationsbewegung der Hüfte. Aus diesem Grund kann auch ein Einfluss der an den Beinen befestigten Kabel ausgeschlossen werden.

Die Einlage sorgt durch die mediale Abstützung für eine Aufrichtung des Talus in der Standphase. Durch die Stabilisierung des Talus wird zunächst die Eversionsbewegung minimiert. Wie bereits in der Einleitung erläutert, ist eine Bewegung in den Gelenken nur als Kombinationsbewegung möglich. Eine Belastung mit aufgerichtetem Talus führt zur Auswärtsdrehung des Unterschenkels. Durch anatomische und muskuläre Gegebenheiten bewirkt dieser Effekt ebenfalls eine Reduzierung der Hüftinnenrotation.

Beide Messsysteme zeigten auch einen geschlechtsspezifischen Unterschied. Der Grund für eine getrennte Auswertung der Ergebnisse bestand in bereits dokumentierten Unterschieden in vorherigen Studien [7]. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen, dass eine gesonderte Betrachtung der beiden Geschlechter sinnvoll ist. Allerdings wurden die Ergebnisse nur bedingt miteinander verglichen, da die unterschiedliche Sprengung der Laufschuhe Einfluss auf die Werte haben könnte.

### Fazit und Ausblick

Die Versorgung mit der Einlage ersetzt nicht ein gezieltes Muskelaufbautraining, um muskuläre Dysbalancen auszugleichen. Ein solches Training erfordert auch Zeit. Aber vor allem im Laufsport ist das Interesse an einer

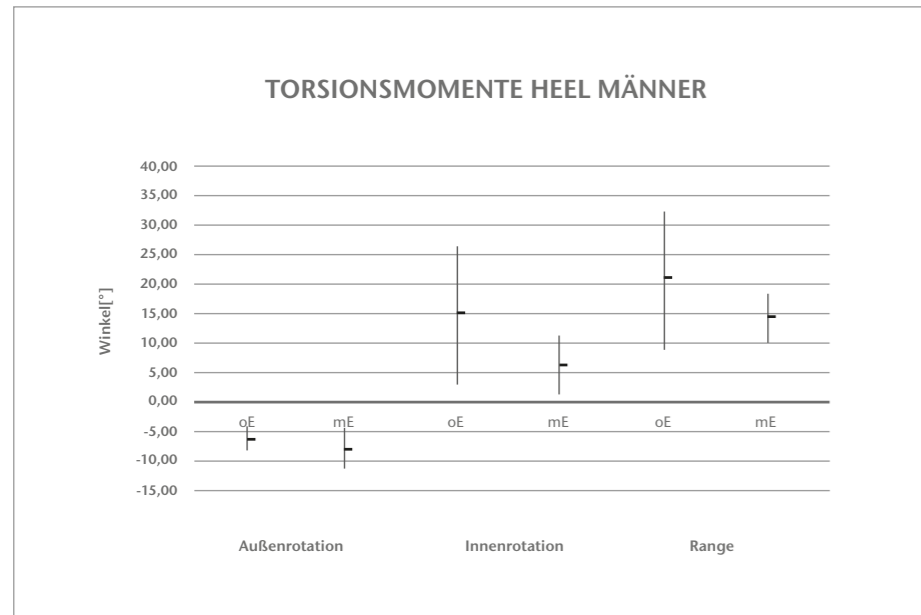


Abb. 8 Torsionsmomente Heel Männer.

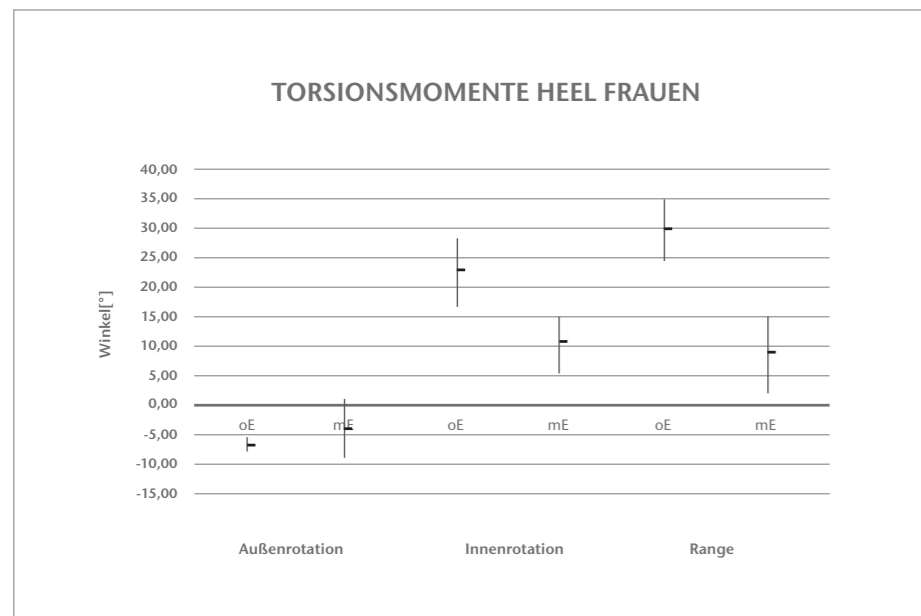


Abb. 8 Torsionsmomente Heel Frauen.

latur, die Sehnen der langen Fußmuskulatur und vor allem die Plantaraponeurose, die für die Aufrechterhaltung des Längsgewölbes sorgen.

Die Carbon-Spange, die in der Schale einlage verarbeitet ist, hat einen Torsionsschnitt medial zwischen Calcaneus und Fußwurzelknochen, der etwa bis zur Längsachse des Fußes reicht. An der lateralen Seite ist die Einlage stabil durch das durchgehende Carbon. Durch die Torsionsschnitte sollen ein natürlicher Abrollvorgang unterstützt und eine Ausweichbewegung ins Genu varum verhindert

werden. Da sowohl die Dorsalextensionsmomente als auch die Außenrotationsmomente am MTP 5 durch die Einlage verringert wurden, kann eine Ausweichbewegung ausgeschlossen werden. Am MTP 1 ließen sich keine Veränderungen mit statistischer Signifikanz durch das Tragen der Einlage nachweisen, woraus sich ableiten lässt, dass weiterhin ein physiologischer Abrollvorgang über den ersten Strahl stattfindet.

Durch diese Ergebnisse konnte die positive Wirkung der dynamischen Carbon-Einlage auf die Faktoren nach-

Auswärtsdrehung des Unterschenkels macht diesen Vorgang rückläufig“, so Hohmann [5]. Beim Gehen ist im Augenblick des Fersenauftrittes der Unterschenkel auswärts gedreht. Unter voller Belastung in der Standphase dreht sich der Unterschenkel einwärts. In der Abstoßphase dreht sich der Unterschenkel bei zunehmender Knieextension wieder nach außen, und der Fuß kann sich wieder aufrichten.

Es ist bereits bekannt, dass sowohl Hobby- als auch Profiläufer nach der Versorgung mit einer dynamischen Carbon-Einlage der Firma Medi eine positive Veränderung ihres Beschwerdebildes empfinden. Deshalb bestand das Ziel der vorliegenden Untersuchung darin, die Wirkung der Schalenform mit Carbon-Spange auf die Innenrotation der Hüfte, die Ausweichung des Talus und somit die Einwärtsdrehung des Unterschenkels zu untersuchen. Es wird die Hypothese untersucht, ob die Einlage diese Parameter reduzieren kann, um die Schmerzsachen für Knie- und Sprunggelenksbeschwerden [1, 2, 3] positiv zu beeinflussen.

## Material und Methoden Probanden

Für die Erfassung der Messdaten wurden bei 26 Probanden (männlich: n = 12, weiblich: n = 14) Laufanalysen durchgeführt. Das arithmetische Mittel des Alters lag bei 29,5 Jahren ± 9,5 Jahre,

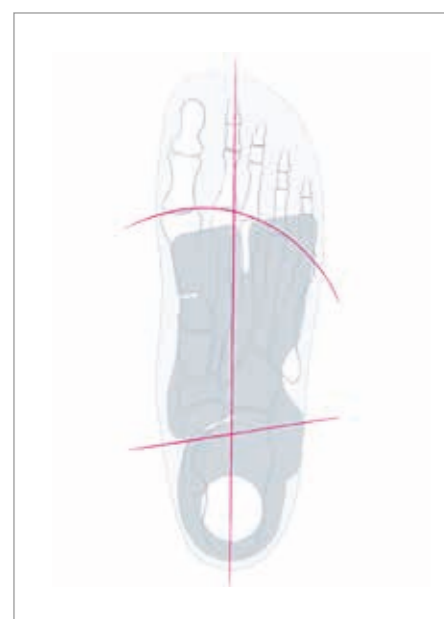


Abb. 1 Technische Darstellung der Iglí Carbon-Spange mit Torsionsschnitten.

das des Gewichtes bei 69,5 kg ± 15,5 kg und das der Körpergröße bei 1,77 m ± 0,12 m. Die Probanden gaben unterschiedliche Trainingszustände an. Verletzungen innerhalb der letzten sechs Monate, Beweglichkeitslimitierungen in den Gelenken und ein pathologisch auffälliges Gangbild waren Ausschlusskriterien der Untersuchung. 21 von 26 Probanden gaben an, mindestens einmal während ihres Lauftrainings unter Schmerzen im Bereich der Patella gelitten zu haben.

## Carbon-Einlage

Bei der Carbon-Einlage handelt es sich um eine Schuheinlage in Schalenform (Abb. 1). Auf der Unterseite der Einlage befindet sich eine 0,8 mm starke Carbon-Spange (Modell „Iglí Allround light C+“ der Firma Medi). In der Carbon-Spange befinden sich in Höhe des Sustentaculum tali und im Vorfußbereich Torsionsschnitte. Diese sollen den physiologischen Abrollvorgang erleichtern. Durch die Schnitte und die Rückstellkraft des Materials wirkt die Einlage nicht wie ein starres Konstrukt, das die Fußgelenke ruhigstellen würde. Vielmehr soll dieser Effekt der Aktivierung der Muskulatur der unteren Extremitäten dienen. Die Decke der Einlage besteht aus einem 4 mm starken EVA 35° Shore A mit Veloursbezug. Unter der Carbon-Spange wurde ein 2 mm dickes EVA 50° Shore A verarbeitet.

Die Einlage wurde im Neutralschuh „Makai“ des Herstellers Zoot getestet. Die Zwischensohle des Damenschuhs baut Zoot mit einer Sprengung von 11,5 mm, die Zwischensohle des Herrenschuhs mit einer Sprengung von 13,1 mm.

## Inertialsensorsystem „MyoMotion“

„MyoMotion“ (Noraxon) ist ein kamerafreies, ortsungebundenes 3D-Kinematik-System, das die dreidimensionale Erfassung menschlicher Bewegung ermöglicht. Es besteht aus einer Kombination aus Hardware (Inertialsensoren) und der MyoResearch-Software MR3. Durch Positionierung der Inertialsensoren auf angrenzenden Körpersegmenten wird deren räumliche Orientierung erfasst und der Bewegungsumfang des dazwischen liegenden Gelenks ermittelt. Die gemessenen Daten

werden über Funk zu einem Receiver übertragen und durch die Software MR3 analysiert.

## Innensohlenmesssystem (ISM) „vebitoSCIENCE“

Das im Labor für Biomechanik der Fachhochschule Münster entwickelte Messsystem „vebitoSCIENCE“ ist eine Kombination aus Hardware (Messsohlen) und Software und dient zur Bestimmung mehrdimensionaler Fußbelastungen im Schuh. Kerkhoff et al. veröffentlichten 2014 erste Studien, die zeigten, dass „das Innensohlensystem (...) durch mobile Biege- und Torsionsbelastungsmessungen unter anderem die schnelle, einfache und reliable Überprüfung orthopädischer Hilfsmittel“ ermöglicht [6].

Die Hardware von „vebitoSCIENCE“ besteht aus einer Datenübertragungseinheit, die die Messdaten kabellos an die Software überträgt, sowie aus Einlegesohlen, in die jeweils fünf Messstellen zur Belastungsmessung integriert sind. Die Trägerschicht der Messsohlen besteht aus einem speziell geformten, elastischen Material, auf dem Dehnungsmesssensoren (Vishay) angebracht sind. Die Messstellen befinden sich proximal der distalen Interphalangealgelenke I und V (DIP I, DIP V), proximal der Metatarsophalangealgelenke 1 und 5 (MTP 1, MTP 5) sowie distal des Processus calcaneus (Heel).

Zu mehrdimensionalen Fußbelastungen zählen Biegeverformungen wie zum Beispiel die Verformung des Vorfußes zum Rückfuß beim Übergang von der mittleren in die terminale Standphase, die durch Biegemomente hervorgerufen werden. Physikalisch sind Biegemomente durch das Produkt aus der wirkenden Kraft und der Länge des Hebelarms definiert. Die Torsion beschreibt die Verdrehung eines Körpers, zum Beispiel die Verdrehung des Fußes um seine Längsachse.

## Versuchsablauf

Vor der Messung wurden von jedem Probanden Alter, Körpergröße, Gewicht, Trainingszustand und Verletzungshistorie erfragt und in einem kurzen Fragebogen dokumentiert. Zur Feststellung von Beweglichkeitslimitierungen in den Sprunggelenken und Auffälligkeiten im Gangbild wurde die Neutral-Null-Methode angewen-



Abb. 2 Befestigung der Messsysteme und Kalibrierung.

det und eine erste Barfußmessung auf einem Lamellenlaufband (Woodway) durchgeführt.

Jeder Proband lief sich vor Aufzeichnung der Messungen 3 Minuten ohne Sensoren zur Eingewöhnung auf dem Laufband warm. Die Probanden wählten dabei unterschiedliche Geschwindigkeiten zwischen 8 km/h und 10 km/h. Bei der anschließenden Barfußmessung wurden die Inertialsensoren zur Aufzeichnung der Winkelverläufe verwendet. Bei den folgenden Messungen trug der Proband den Neutralschuh inklusive Innensohlenmesssystem (ISM). Die Messungen wurden jeweils mit und ohne Einlage durchgeführt und fanden in randomisierter Reihenfolge statt. Für die Messung mit der Carbon-Einlage wurden die zum Schuh gehörigen Sohlen aus Platzgründen entfernt und durch die vorher zugeschiffene Einlage ersetzt. Das ISM wurde auf den Einlagen platziert. Alle Sensoren sowie das ISM wurden während der Messungen von derselben Person platziert und der Sitz nach jeder Messung kontrolliert (Abb. 2).

## Auswertung

Für die Auswertung wurden aus jeder Messung 20 Doppelschritte extrahiert und daraus der Mittelwert gebildet. Die statistische Analyse der erhobenen Daten erfolgte mittels der von IBM vertriebenen Software SPSS. In der Untersuchung wurde die Software dazu genutzt, die gemessenen Maximal- und Mini-

malwerte auf ihre statistische Signifikanz zu prüfen. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p = 0,05$  festgelegt.

Die Messdaten von Männern und Frauen wurden getrennt ausgewertet, da Kerkhoff et al. in vorangegangenen Studien geschlechtsspezifische Unterschiede im Laufstil und bei den Fußbelastungen nachweisen konnten [7] und sich zudem die Schuhe in ihrer Sprengung voneinander unterschieden.

## Ergebnisse

Die Diagramme in den Abbildungen 3 bis 8 zeigen die Auswertung der Winkel- und Belastungsmessungen. Darge-

stellt sind jeweils die errechneten Mittelwerte sowie der Maximal- und Minimalwert eines Probanden für die Barfußmessung (= B), die Messung ohne Einlage (= oE) und die Messung mit Einlage (= mE). Die große Streuung resultiert aus der von jedem Probanden unterschiedlich gewählten Geschwindigkeit. Der Begriff „Range“ bezeichnet im Folgenden den Bewegungsumfang beziehungsweise die Differenz der Außenrotations- und Innenrotationsmomente.

Der Laufschuh alleine hatte bei männlichen und weiblichen Probanden keinen statistisch signifikanten

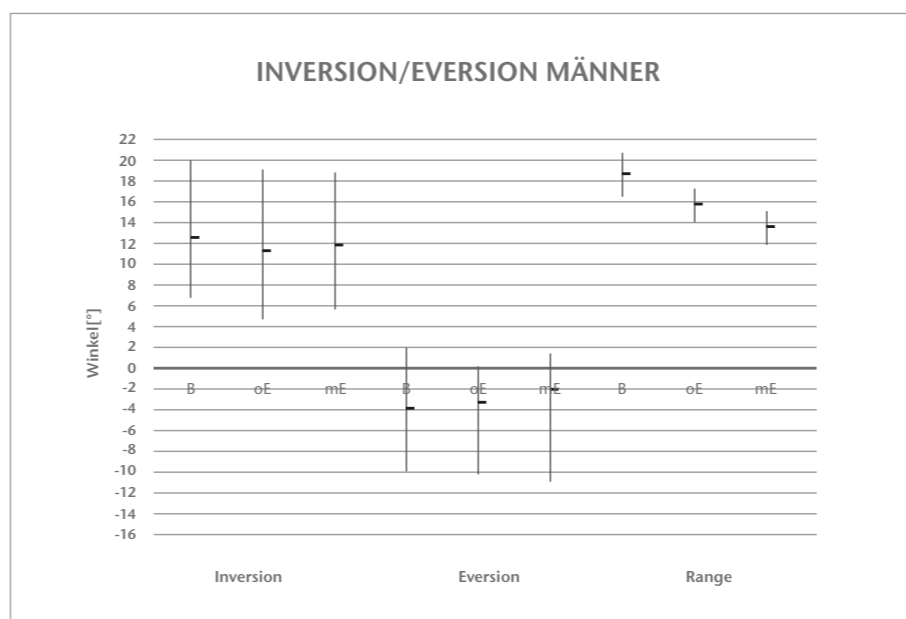


Abb. 3 Inversion/Eversion Männer.

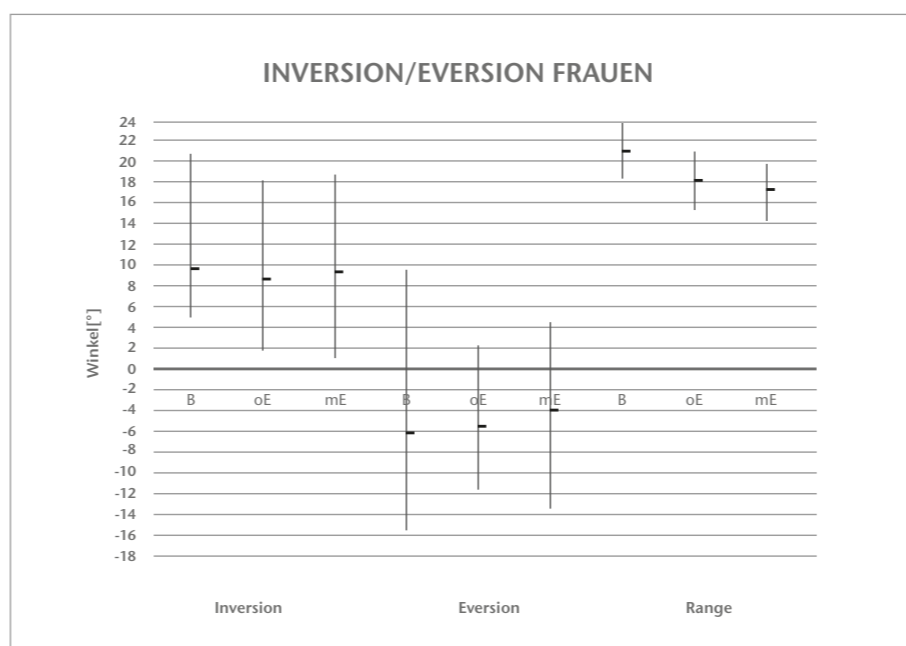


Abb. 4 Inversion/Eversion Frauen.

Einfluss ( $pm = 0,211$ ,  $pw = 0,421$ ). Die Eversion (Abb. 3 u. 4) wurde durch die Einlage bei beiden Probandengruppen signifikant um etwa 1,5° reduziert ( $pm = 0,001$ ,  $pw = 0,017$ ). Die Verkleinerung des Bewegungsumfanges ist nur bei den männlichen Probanden statistisch signifikant ( $pm = 0,002$ ,  $pw = 3,309$ ).

Der Vergleich der Hüftrotationswinkel (Abb. 5 u. 6) zeigte, dass der Neutralschuh keinen signifikanten Einfluss auf die Innenrotation der Hüfte hat ( $pm = 0,289$ ,  $pw = 0,758$ ). Die Ergebnisse der Hüftaußenrotation zeigen ebenso keine Änderung durch das Tragen der Carbon-Einlage ( $pm = 0,502$ ,  $pw = 0,755$ ). Dagegen wird die Innenrotation durch die Einlage bei männlichen Probanden von 7,03° auf 5,83° reduziert ( $pm = 0,005$ ). Die Kombination von Schuh und Einlage führt im Vergleich zum Barfußlauf zu einer Verkleinerung des Innenrotationswinkels um 2,48° ( $pm = 0,001$ ). Die Hüftinnenrotation bei den weiblichen Probanden wird durch die Einlage von 3,26° auf 1,55° beschränkt ( $pw = 0,045$ ). Die verstärkte Hüftinnenrotation durch den Schuh bei den Probandinnen ist statistisch nicht signifikant ( $pw = 0,758$ ). Auch der Bewegungsumfang wird nicht signifikant durch eine der Konditionen beeinflusst.

Die Vergleiche der Torsionsmomentmessungen an der Messstelle Heel (Abb. 7 u. 8) weisen nur bei Innenrotationsmoment und Range eine statistische Signifikanz bei Messungen mit Einlage auf. Das Innenrotationsmoment verringert sich bei den männlichen Probanden durch die Einlage im Mittel von 15,00 Nmm auf 5,56 Nmm ( $pm = 0,031$ ). Die Range zwischen Außenrotations- und Innenrotationsmoment verkleinert sich um 6,6 Nmm ( $pm = 0,047$ ).

Bei den Probandinnen reduziert sich das Innenrotationsmoment durch die Einlage von 22,75 Nmm auf 10,42 Nmm ( $pw = 0,001$ ). Die Range wird infolgedessen um 21,17 Nmm kleiner ( $pw = 0,000$ ).

## Diskussion

### Sprunggelenk

Die Einschränkung der Eversionsbewegung durch die Einlage konnte durch die Winkelmessungen nachge-

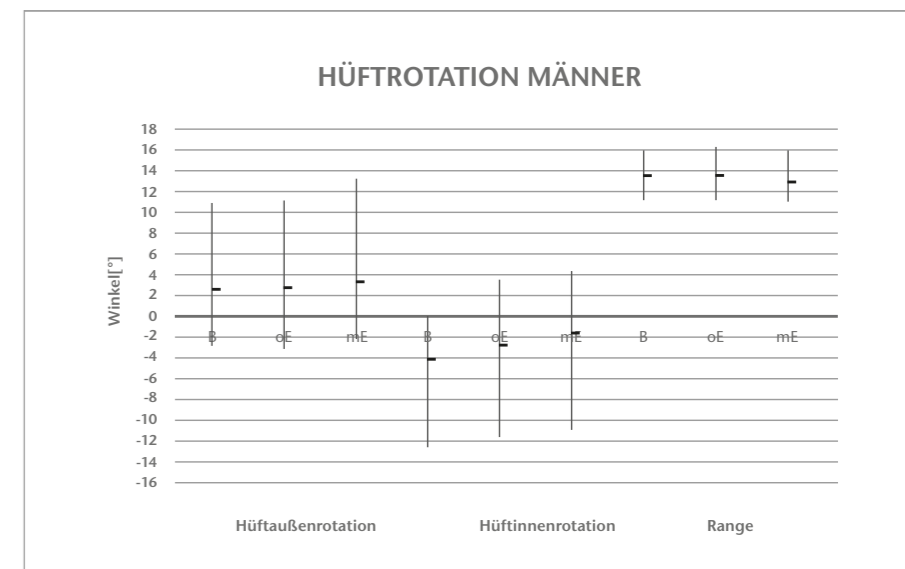


Abb. 5 Hüftrotation Männer.

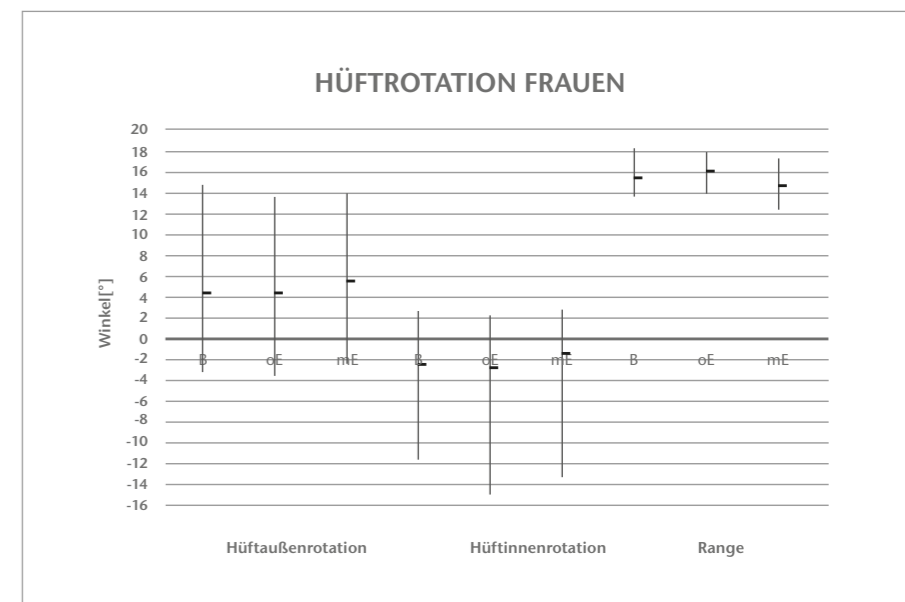


Abb. 6 Hüftrotation Frauen.

wiesen werden (Abb. 3 u. 4). Der Eversionswinkel wird durch die Einlage signifikant verkleinert, während der Inversionswinkel sich nicht signifikant ändert. Eine bloße Verschiebung eines gleich groß bleibenden Winkels hätte eine Lenkung des Rückfußes in die Supinationsfehlstellung bedeutet. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Einlage den Fuß nicht in eine Überkorrektur drängt, sondern nur eine Überpronation durch eine gezielte Abstützung ausgleicht.

Zur Verdeutlichung dieser Ergebnisse dienen die Messergebnisse aus den Torsionsmomentmessungen an der Messstelle Heel (Abb. 7 u. 8). Je weniger Torsionsmomente auf die Fer-

se wirken, desto geringer ist die Achsen- und Lageverschiebung des Rückfußes zum Vorfuß und desto geringer sind die Zug- und Reibungskräfte, die auf die Achillessehne wirken. Mittels Veбитosolution konnte bei beiden Probandengruppen eine signifikante und um mehr als 50 % reduzierte Belastung der Ferse durch Innenrotationsmomente nachgewiesen werden. Insgesamt fiel auch die Differenz zwischen Außen- und Innenrotationsmomenten kleiner aus, wenn die Probanden die Carbon-Einlage trugen. Ebenfalls wurden an der gleichen Messstelle kleinere Dorsalexensionsmomente festgestellt. Das bedeutet eine geringere Belastung für die kurze Fußmuskulatur.