Orthopädie aktuell

eurocom
· WIR · ENTWICKELN · GESUNDHEIT ·

05/2022

Sehr geehrte Damen und Herren,

*in dieser Ausgabe mit dem Schwerpunkt **Einlagen** erläutert Thomas Stief, Leiter der Arbeitsgruppe Biomechanik am Institut für Sportwissenschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen, die **Umsetzung bionischer Prinzipien** in einer 3D-gedruckten Einlage.*

*Außerdem finden Sie darin Hinweise zur **Verordnung** von orthopädischen Einlagen.*

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre.

Ihr eurocom-Team

Fall des Monats

Thomas Stief, Leiter der Arbeitsgruppe Biomechanik, nemolab, Institut für Sportwissenschaft, Justus-Liebig-Universität Gießen

Umsetzung bionischer Prinzipien in einer 3D-gedruckten Einlage

Einleitung

Bei alltäglicher oder bei sportlicher (Fort-)Bewegung wirken auf den gesamten menschlichen Körper große externe Belastungen. Physiologische Fußfunktionen und eine biomechanisch effiziente Interaktion der einzelnen Fußstrukturen sind für eine beschwerdefreie aufrechte Haltung und Lokomotion essenziell. Eine bewegliche Konfiguration der Fußsegmente ist notwendig, um durch bestmögliche Anpassung der Füße an unterschiedlichste Untergrundbedingungen eine optimale Basis für die aufrechte Körperhaltung zu gewährleisten. Zudem ist die Beweglichkeit, vor allem in den Rückfußgelenken, essenziell, um den Fuß als Dämpfungseinheit zur Belastungsoptimierung nutzen zu können. Die sogenannte Anfangspronation während der frühen Standphasen der Lokomotion ist ein wesentlicher Bestandteil einer physiologischen Belastungsreduktion.

Die größten externen Drehmoment- und internen Gelenkbelastungen treten aber an den Füßen und anderen Bereichen der unteren Extremitäten in den späten Lokomotionsphasen auf, in denen nur der Vorfuß Kontakt zum Untergrund hat. Der sogenannte Windlass-Mechanismus stellt das Wechselspiel der Fußstrukturen bei Dorsalextension der Zehen dar und gewährleistet eine physiologische Belastung der Füße und unteren Extremitäten in Fortbewegungsphasen mit Vorfußkontakt. Werden die Zehen dorsalextendiert, steigt die Spannung in den plantaren Strukturen an. Der Spannungsanstieg führt zur Aufrichtung und Supination des Mittel- und Rückfußes (Abb. 1). Dadurch und aufgrund der anatomischen Gestaltung der gelenkigen Verbindungen verriegeln die einzelnen Segmente, bilden eine rigide Einheit und in den plantaren Strukturen wird Verformungsenergie gespeichert. Diese Energie wird für einen energieeffizienten Vortrieb des gesamten Körpers genutzt. Aufgrund der stabilen Konfiguration werden die Füße und die unteren Extremitäten physiologisch belastet und eine energieeffiziente Fortbewegung ermöglicht.

Abb. 1: physiologische Fußstellung und Windlass-Mechanismus während der Standphase der Lokomotion; Höhe des medialen Längsbogens (pinker Bogen) des Mittel- und Rückfußbereichs bei Belastung des gesamten Fußes z.B. in der mittleren Standphase des Gangzyklus (transparent im Hintergrund); Vorfußbelastung z.B. in der späten Standphase (im Vordergrund) mit Verspannung der plantaren Strukturen z.B. Plantaraponeurose (petrolfarben) und daraus resultierend eine physiologische Aufrichtung des medialen Längsbogens (pinker Bogen) und Supination des Mittel- und Rückfußes

Der Windlass-Mechanismus ist bei den unterschiedlichsten Fußfehlstellungen und anderen Beschwerden an den unteren Extremitäten inadäquat oder gar nicht vorhanden. Die für die Fortbewegung essenziellen Fußfunktionen Rigidität und Energiespeicherung stehen dann nur reduziert oder nicht zur Verfügung. Beispielsweise kann bei der am häufigsten auftretenden Fußfehlstellung, dem funktionellen Knick-Senkfuß, nur begrenzt oder gar keine Spannung in den plantaren Strukturen aufgenommen werden. Beim Gehen und/oder Laufen kommt es zu einer unphysiologischen Pronation und in den späten Standphasen, in denen nur Vorfußkontakt zum Boden besteht, wird der Mittel- und Rückfuß nur inadäquat oder nicht aufgerichtet und supiniert. Das führt zu einer fehlenden Verriegelung des Mittel- und Rückfußbereichs. Die unteren Extremitäten werden dann in Lokomotionsphasen, in denen die größten Belastungen auftreten, nicht physiologisch belastet, was zu Überbeanspruchungen verschiedenster Strukturen führen kann. Der Fuß kann zudem nicht hinreichend als physiologischer Hebel für den Vortrieb genutzt werden. Durch die fehlende oder reduzierte Spannungsaufnahme kann nur weniger oder gar keine Verformungsenergie gespeichert und für den Vortrieb genutzt werden. So ist eine energieeffiziente Fortbewegung nicht möglich. Bisher gibt es keine Orthesen- bzw. Einlagenversorgung, die einen inadäquaten oder fehlenden Windlass-Mechanismus unterstützen oder ersetzen kann.

Aufbau und Funktion der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese

Bei der Entwicklung der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese/Einlage lag der Fokus auf der technischen Umsetzung wichtiger bionischer Prinzipien und Aspekte der Fußbiomechanik. Zwei Entwicklungsziele waren die Unterstützung und/oder Ersatz erstens

des Windlass-Mechanismus und zweitens der Eigenschaften der Füße, die eine energieeffiziente Fortbewegung ermöglichen.

Die 3D-gedruckte bionische Einlage verfügt über drei Hauptbestandteile (Abb. 2 und Abb. 3 a). Die Deckschicht übernimmt die Bogenfunktion der knöchernen Strukturen, die plantare Schicht die Funktion der Bänder und Sehnen. Ein Umlenkelement ist im distalen Mittelfußbereich positioniert. Durch diesen Aufbau kann eine dynamische Anpassung des Mittel- und Rückfußbereichs und eine größtmögliche Energiespeicherung erreicht werden.

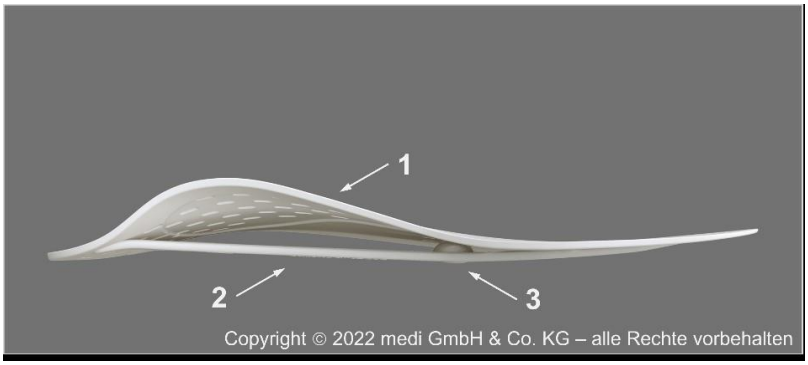

Abb. 2: Aufbau der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese – Aufbau aus Deckschicht (1), Sehne (2) und Umlenkelement (3)

Wird die Einlage im Vorfußbereich nach oben gebogen, was einer Dorsalextension des Vorfußes entspricht, vergrößert sich die Konvexität des Bogens im Mittel- und Rückfußbereich und die 3D-gedruckte bionische Fußorthese nimmt Spannung auf (Abb. 3 b). Die erzielte Höhe entspricht im Ausmaß der Höhen- und Formanpassung der eines gesunden Fußes.

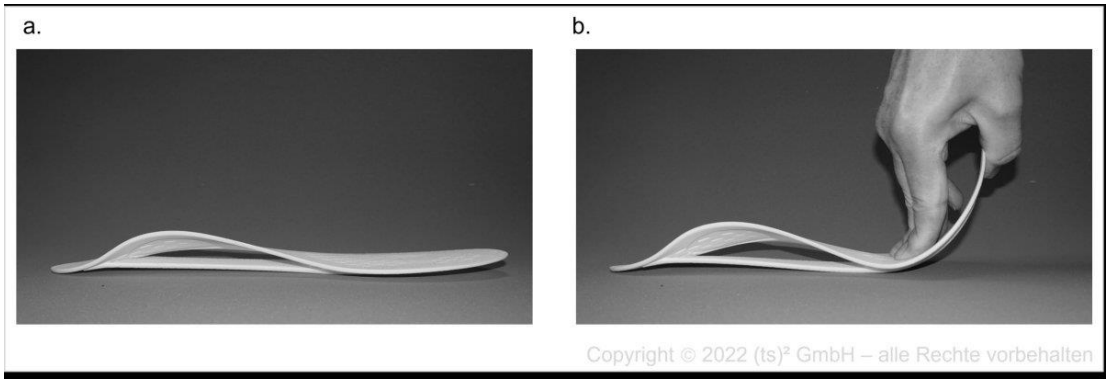

Abb. 3: mediolaterale Ansicht der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese; a: „entspannt“ mit Ausgangshöhe der Deckschicht im Mittel- und Rückfußbereich, b: mit dorsalextendierten Vorfußbereich und daraus resultierend konvex angehobener Deckschicht im Mittel- und Rückfußbereich

In Lokomotionsphasen mit Vorfußkontakt, wie den späten Standphasen beim Gehen und/oder Laufen, kann durch den Einsatz der 3D-gedruckten bionischen Einlage ein bisher nicht umzusetzender und einzigartiger Effekt erreicht werden. Durch die Anhebung des Mittel- und Rückfußbereichs bei Dorsalextension des Vorfußbereichs wird der Fuß der zu versorgenden Person in seine physiologische Stellung aufgerichtet und supiniert. Dies ist essenziell notwendig, um die gesamten unteren Extremitäten physiologisch zu belasten. Bei Fußfehlstellungen, wie dem funktionellen Knick-Senkfuß, wird so der Fuß in allen wichtigen Phasen der Fortbewegung unterstützt. Das ist durch andere Einlagen- und/oder Orthesenversorgungen nicht möglich. Zudem speichert die 3D-gedruckte bionische Einlage über die gesamte Standphase Energie. Die gespeicherte Verformungsenergie kann für den Vortrieb genutzt werden und gestaltet die Fortbewegung effizienter. Die bionische Fußorthese wird im Selektiven Lasersinter-Verfahren hergestellt. Im Vergleich zu anderen Fertigungstechnologien bietet es viele Vorteile. In mechanischen und biomechanischen Tests und Dauerbelastbarkeitstests wurde die Belastbarkeit der Einlage für alltägliche und sportliche Aktivitäten überprüft und bestätigt. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unterstützte die Entwicklung und die Patentanmeldung der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese u.a. durch ein WIPANO-gefördertes Projekt. Sie ist national und international zum Patent angemeldet.

Wissenschaftlicher Nachweis der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese

Die Wirkung der 3D-gedruckten bionischen Fußorthese wurde in einer randomisierten kontrollierten Studie evaluiert. Studienziel war die Ermittlung der Einflüsse auf das Aufrichten und Supinieren des Mittel- und Rückfußes während der Push-Off-Phase des Laufens. An der Studie nahmen 11 Proband*innen mit funktionellem Knick-Senkfuß teil. Unter vier verschiedenen Bedingungen: Laufen ohne Versorgung, mit stützender, sensomotorischer und 3D-gedruckter bionischer Fußorthese wurden u.a. die Pronations- und Supinationsmomente während des Laufens ermittelt. Die Untersuchung ergab, dass die Proband*innen mit funktionellem Knick-Senkfuß ohne Versorgung keine physiologische Aufrichtung und Supination des Mittel- und Rückfußes während der Push-Off-Phase des Laufens haben. Stützende und sensomotorische Einlagen unterstützen/ersetzen die Aufrichtung und Supination während des Push Off nicht. Wohingegen die 3D-gedruckte bionische Fußorthese das Aufrichten und Supinieren während der Push-Off-Phase nachweisbar unterstützt. Die signifikante und relevante Aufrichtung und Supination entspricht im Ausmaß der Aufrichtung und Supination von Personen ohne Knick-Senkfußfehlstellung. Mit der Studie konnte gezeigt werden, dass die 3D gedruckte bionische

Fußorthese für Läufer*innen mit Knick-Senk-Fußfehlstellungen einen wichtigen funktionellen Mehrwert bietet, der durch andere Einlagenversorgungen nicht gewährleistet wird.

Fazit

Erstmals kann der Windlass-Mechanismus durch eine orthopädische Versorgung unterstützt oder ersetzt und die mechanischen Eigenschaften der plantaren Strukturen der Füße unterstützt werden. Die Umsetzung der Entwicklungsziele ist u.a. durch den Einsatz moderner Fertigungsverfahren möglich. Die einzigartig dynamische und wichtige Unterstützung der wichtigsten Fußfunktionen durch die 3D-gedruckte bionische Fußorthese wurde in einer wissenschaftlichen Studie belegt.

Literaturverzeichnis

Banwell HA, Mackintosh S, Thewlis D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. J Foot Ankle Res 2014; 7: 23

Buldt AK, Levinger P, Murley GS, et al. Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. Gait & Posture 2015; 42: 42–48

La Bolgla, Malone TR. Plantar fasciitis and the windlass mechanism: a biomechanical link to clinical practice. Journal of Athletic Training 2004 Jan; 39: 77–82

Lucas R, Cornwall M. Influence of foot posture on the functioning of the windlass mechanism. Foot (Edinb) 2017; 30: 38–42

Manfredi-Márquez MJ, Tovaruela-Carrión N, Távara-Vidalón P, et al. Three-dimensional variations in the lower limb caused by the windlass mechanism. PeerJ 2017; 5: e4103

McDonald KA, Stearne SM, Alderson JA, et al. The Role of Arch Compression and Metatarsophalangeal Joint Dynamics in Modulating Plantar Fascia Strain in Running. PLoS ONE 2016; 11: e0152602

Nigg B, Behling A-V, Hamill J. Foot pronation. Footwear Science 2019; 11: 131–134

Stearne SM, Alderson JA, Green BA, et al. Joint kinetics in rearfoot versus forefoot running: implications of switching technique. Med Sci Sports Exerc 2014; 46: 1578–1587

Stief T, Sprekelmeyer T. Einfluss einer 3D-gedruckten Sporteinlage auf die Rückfußbelastung während des Laufens. Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology 2020; 36: 195

Wager JC, Challis JH. Elastic energy within the human plantar aponeurosis contributes to arch shortening during the push-off phase of running. J Biomech 2016; 49: 704–709

Korrespondenzadresse

Thomas Stief, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Sportwissenschaft, Kugelberg 62, D-35394 Gießen, thomas.stief@sport.uni-giessen.de / t.stief@tshoch2.de

Verordnungshinweis Einlagen

Einlagen gehören zu den Hilfsmitteln und sind damit gemäß § 33 SGB V zu Lasten der gesetzlichen Krankenversicherung verordnungsfähig. Stationär oder ambulant tätige Ärzte mit Kassenzulassung können sie bei Vorliegen einer entsprechenden Indikation verordnen.

Die Versicherten müssen einen gesetzlichen Eigenanteil in Höhe von zehn Prozent des Abgabepreises zuzahlen. Dieser Betrag, vergleichbar mit einer Rezeptgebühr, ist pro Einlagenpaar begrenzt auf mindestens fünf Euro und höchstens zehn Euro.

Die Verordnung von Hilfsmitteln belastet das Arznei- und Heilmittelbudget nicht. Hilfsmittel sollten immer auf einem separaten Rezept verordnet werden. Das **Feld Nummer 7 (Hilfsmittel)** muss markiert werden.

Orthopädische Einlagen sind in der Produktgruppe 08 „Einlagen“ des Hilfsmittelverzeichnisses gelistet. In der Regel ist der Arzt gehalten, auf dem Rezept eine so genannte **Produktart (7-Steller des Hilfsmittelverzeichnisses)** zu benennen. Die Auswahl des konkreten Einzelproduktes erfolgt dann beim Leistungserbringer.

Das gehört auf das Rezept

1 Anzahl
2 Produkt(art)
3 Hilfsmittelnummer
4 Fertigung „nach Maß" oder „nach Formabdruck" (...)
5 genaue Indikation/Diagnose (ICD-10-Code)
6 Vorname (ausgeschrieben) und Nachname Arzt
7 Berufsbezeichnung
8 Anschrift der Praxis oder Klinik der verschreibenden ärztlichen Person einschließlich einer Telefonnummer zur Kontaktaufnahme

weiterführende Informationen

Industrieticker

Bewegungslabor bodynostic

bodynostic nutzt sensomotorische Einlagen, um durch gezieltes Setzen von Reizen unter der Fußsohle die Stütz-und Zielmotorik zu verändern. Muskuläre Dysbalancen werden durch das neue Bewegungsschema reduziert und somit die Ursachen vieler Schmerzen dauerhaft behoben. Innerhalb der ersten 6 Monate wird die Therapiesohle kontrolliert und gegebenenfalls optimiert. Die Einlagen werden mit der Hilfe kleiner Elemente individuell und millimetergenau auf den Fuß angepasst. Die Anfertigung erfolgt über eine CNC-Fräse.

Mehr dazu hier

Sportiv, Weichpolster-Rohling mit Versteifung

Dieser beliebte und preisgünstige Sport-Rohling besitzt eine ausgearbeitete Fersenmulde. Das Modell hat einen verlängerten Vorfuß: Sonderausführung »Decke + 1 Nr.«. Aufbau des Rohlings: 4 mm braunes perforiertes Metaform-Polster, 30 Shore, »Decke + 1 Nr.« / Thermo-Versteifung ohne Ferse / weißer und fester Light-Unterbau, 8 mm, 65 Shore EVA / Pelottendruck Artikelnummer: 3700/614/0825480/1111

Mehr dazu hier

igli Heel von medi

Die Einlagen der igli Focus Selection bieten besondere Produkt-Features für indikations-spezifische Versorgungen. So entlastet die igli Heel mit Fersenaussparung den sensiblen Bereich bei Fersenschmerzen. Sie wurde mit einem Aussparungskanal bis zum Großzehengrundgelenk entwickelt, der den Druck minimiert. Die steile Konstruktion des Längsgewölbes stützt den Fuß und die angepasste Carbon-Spange entlastet den Faszienansatz.

Mehr dazu hier

Novaped calcaneus

Die Novaped calcaneus Serie ist speziell für den Einsatz bei Überlastungssymptomen oder Schmerzen im Bereich des Calcaneus/Plantarsehnenansatzes konzipiert worden. Die Novaped S90 calcaneus Einlagenrohlinge werden aus einem thermoplastischen Material vorgeformt und haben neben einer anatomisch angepassten Aussparung in der Fersenmitte auch eine Tieferlegung der plantaren Sehnenstruktur.

Mehr dazu hier

Össur: OA FirstStep

Die neue Össur Einlage bewirkt bei Valgus- bzw. Varus-Stellung eine Korrektur der Beinachse und entlastet dadurch das von Arthrose Kniegelenk-Kompartiment. Entwickelt in Kooperation mit einem führenden Einlagen-Hersteller.

Mehr dazu hier

GENU-HiT + COMFORT

Größenerweiterung bei SPORLASTIC: Die bewährte Kniebandage GENU-HiT + COMFORT für konische Beinformen ist seit diesem Jahr auch in Größe 3+ erhältlich. Durch das zirkuläre Silikonnoppenhaftband wird die natürliche Rutschtendenz reduziert. Zusätzlich gewährleistet das Silikonnoppenhaftband einen hohen Tragekomfort.

Mehr dazu hier

eurocom e. V.
European Manufacturers Federation for
Compression Therapy and Orthopaedic Devices
Reinhardtstraße 15, 10117 Berlin

eurocom-Website