

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die immer häufigere Anwendung von wiederverwendbaren Sprunggelenksorthesen unterschiedlichster Materialien und Konstruktionen hat die Therapie der Sprunggelenksverletzungen in den letzten Jahren deutlich verändert. Zur Überprüfung des von den verschiedenen Orthesen gewährleisteten Supinationsschutzes sind in der Literatur unterschiedliche Evaluierungsverfahren beschrieben worden, die grundsätzlich entweder als Statische oder als Dynamische bezeichnet werden können. Im Gegensatz zu den statischen Versuchsanordnungen, die sich lediglich mit der passiven Stabilität von Sprunggelenksorthesen beschäftigen, versuchen dynamische Evaluierungsmethoden eine echte Stresssituation zu simulieren und somit den Supinationsschutz der zu testenden Orthesen unter höherem Belastungsstress und realitätsnahen Bedingungen zu überprüfen. Obwohl dynamische Methoden als realitätstreuer betrachtet werden können, fällt die Bestimmung der Fußbeweglichkeit mittels der üblicherweise angewendeten externen Goniometer bzw. Marker nicht ohne Probleme aus.

Die Problematik in der Erfassung der Fuß- und Sprunggelenkkinetik bei dynamischen Evaluierungsmethoden, die zur Überprüfung der antisupinatorischen Wirksamkeit von Sprunggelenksorthesen konzipiert wurden, gab Anlass zu der hier vorgestellten Studie. Basierend auf der Annahme, dass Variationen der Fußbewegungen auf die verschiedenen dynamischen Druckverteilungsschemata reflektiert werden, wurden Druckmesssohlen in neuartiger Kombination mit einer dynamischen Orthesenevaluierungsmethode verwendet. Als solche wurde eine plyometrische Versuchsanordnung vorgestellt, bei der durch Tiefsprünge auf eine um  $20^\circ$  geneigte Rampe der typische Verletzungsmechanismus des lateralen Kapsel-Bandapparates möglichst wirklichkeitstreu simuliert werden sollte. Die Anwendung von Druckmesssohlen sollte Aufschlüsse über die Biomechanik der Landungen auf die schiefe Rampe geben und somit das Verfahren genauer biomechanisch analysieren. Zuletzt sollte die Auswertung der mittels des Druckmesssystems aufgenommenen Landessequenzen den Einfluss von bekannten und häufig eingesetzten Sprunggelenksorthesen auf die Fußsohlenbelastung evaluieren.

Zwanzig sportlich aktive Probanden nahmen an der Studie teil, welche anhand der Ergebnisse aus der klinischen und röntgenologischen Untersuchung in Untergruppen eingeteilt wurden, um genauer die Effekte von Faktoren, wie das Geschlecht, die Beweglichkeit oder die laterale Bandstabilität auf den Supinationsschutz der verschiedenen Orthesen

festzustellen. Aus allen untersuchten Orthesen wurden aufgrund ihrer biomechanischen Konstruktions- bzw. Funktionsprinzipien ebenfalls Gruppen gebildet, was die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Stabilisierungskonzepte beabsichtigte. Aufgabe der Probanden war es, ohne Supinationsschutz und mit in randomisierter Reihenfolge getragenen Orthesen rückwärts aus einem Podest von ca. 40 cm Höhe auf die schräge Rampe zu springen. Mit Hilfe des verwendeten Druckmesssystems wurden insgesamt 1541 Sprünge (164 Sprünge ohne Schiene und 1377 Orthesensprünge) aufgenommen und einzeln evaluiert.

Aus den gesammelten Messdaten aller gültigen Sprünge wurde erstmalig in einer Studie die jedem Probanden charakteristische Fuß-Lande-Biomechanik mit indirekten kinematischen und kinetischen Daten erhoben. Dies wurde realisiert mit dem Quotienten aus den Druckwerten des medialen und lateralen Fersenbereichs (Fersenratio), dem aufsummierten Fersendruckwert und der Zeitdauer vom Bodenaufsetzen der Ferse bis zum Druckmaximum ( $t_{max}$ ) in Relation gesetzt und in relativen wie absoluten Zahlen berechnet. Daraufhin wurden die errechneten biomechanischen Merkmale und die Korrelationen zueinander geprüft, einerseits um Einsicht in die Biomechanik der Landungen auf die Schrägebene zu gewinnen und andererseits um die zur Auswertung des Supinationsschutzes geeigneten Sprünge auszuwählen. Gemäß dem dynamischen Prinzip des verwendeten Tiefsprungverfahrens, nach dem eine möglichst realitätsnahe Supinationsverletzungssimulation die Wirksamkeit der getesteten Orthesen evaluieren sollte, wurden zur weiteren statistischen Bearbeitung nur Sprünge einbezogen, die eine volle Fuß- bzw. Fersenbelastung und keine Anzeichen einer starken Voraktivierung der Peronealmuskulatur aufwiesen. Somit wurden schließlich nur 453 Sprünge (32,97% aller gültigen Sprünge bzw. 29,39% aller aufgenommenen Sprünge) zur Orthesen- bzw. Orthesengruppenprüfung herangezogen. Aus jedem dieser Sprünge wurde der Fersenratiowert zum Zeitpunkt der maximalen Fersenbelastung als Index zur Feststellung der Fersenstellung zum Zeitpunkt des mit der Landung provozierten maximalen Supinationsstresses herangezogen und zur Evaluierung der antisupinatorischen Wirksamkeit der Orthesen bzw. Orthesengruppen benutzt.

Die Tatsache, dass kaum ein Drittel der Sprünge zur Evaluierung der Orthesen weiter statistisch auszuwerten war, lässt sich dadurch erklären, dass eine Vorspannung der Unterschenkelmuskulatur durch die Tiefsprünge nicht ausgeschlossen bzw. kontrolliert werden konnte. Die daraus resultierende große intraindividuelle Variabilität der aufgenommenen Sprünge und Messdaten deutet primär auf eine geringe Wiederholbarkeit des Sprungverfahrens hin; allerdings kann dies durch eine strenge Auswahl des Landungstypus mit einer Differenzierung der Zeitdauer  $t_{max}$  des Druckanstieges und der Fersenratio weitgehend ausgeglichen werden. Ferner konnte ohne weitere technische Aufrüstung die Messung der auftretenden Stoßkräfte nicht durchgeführt werden und somit keine Aussage getroffen werden, ob die produzierten Kräfte und Drehmomente einer realen Verletzungssituation

entsprechen und ob mit einer Landung auf die Schrägebene die Bewegungs- bzw. Belastungsgrenzen erreicht werden.

Dennoch haben die mittels der Druckmesssohlen gewonnenen Daten dazu beigetragen, weitere Erkenntnisse über die Landungsbiomechanik auf die schräge Ebene zu gewinnen. Anhand der ausgewählten Parameter und der grafischen Darstellung ihres zeitlichen Verlaufs konnten die Kinetik des Rückfußes und die Muskelaktivität ohne gleichzeitige elektromyografische Untersuchung indirekt dokumentiert und beurteilt werden. In dieser Hinsicht hat sich die Verwendung von Druckmesssohlen im Rahmen der in der Studie beschriebenen dynamischen Orthesenevaluierung eindeutig bewährt. Die sehr detaillierte und präzise Datenerhebung hat nicht nur Einsicht in die Biomechanik von Landungen auf einer schrägen Ebene mit Supinationsschutz gewährt, sondern auch die ausführliche Überprüfung des Tiefsprungverfahrens ermöglicht. Ferner boten Druckmesssohlen die Gelegenheit, die Biomechanik des Sprunggelenkes und Fußes bei dynamischen Bewegungen unter realitätsnahen Bedingungen mit oder ohne Supinationsschutz zu beurteilen.

Die statistisch bewiesenen Unterschiede der getesteten Orthesenbedingungen deuten indirekt auf Veränderungen der Rückfußkinetik von unterschiedlichem Maße hin, welche auf die biomechanischen Aspekte der Orthesenkonstruktion zurückzuführen sind. Zugleich haben die Ergebnisse der Orthesenprüfung die hohe Komplexität der Schutzmechanismen erkennen lassen. Wie bei vielen anderen Studien ist es erwiesen worden, dass externe Stabilisierungshilfen eine Inversionsbewegung nicht vollständig verhindern können.

Die aus den dokumentierten dynamischen Druckverteilungsmustern bzw. -veränderungen indirekt extrapolierte niedrigere antipinatorische Effektivität der die Knöchel umgreifenden „halbstarren“ Orthesen in Halbschalen-Bauweise, welche im Fuß Flexion und Extension frei ermöglichen, deutet darauf hin, dass die Einschränkung der Rückfußbewegungen in der Frontalebene allein nicht ausreichend ist, um eine forcierte Supination des Gesamtfußes zu verhindern. Es besteht die Notwendigkeit, alle anderen Bewegungskomponenten des Fußes mitzubedenken. Weiterhin fällt auf, dass die von den so genannten „starren“ Orthesen, welche die Malleolen und Fußsohle in einem Bauteil mit rigiden Materialien verbinden, bezweckte starke Rigidität vom Sprunggelenk und Fuß nicht ohne negative Auswirkungen bezüglich der Bewegungskette der unteren Extremität und der Energieabsorption während der Fußlandung ausfällt. Auf der anderen Seite weist die unerwartet schlechtere Effektivität von Schienen mit Effekt auf die Propriozeption der protektiven Sehnen („Mahneffekt“ der Peronealsehnen) bei den funktionell beweglicheren Probanden darauf hin, dass die stabilisierende Wirkung der Orthesen nicht alleinig dynamisch und ohne jegliche Stabilisierungskomponente erfolgen kann.

Eine gut ausgewogene Kombination von statischen (rigiden) und dynamischen Komponenten, wie beispielsweise bei den so genannten „weichen“ Orthesen (mit dynamischer

Zügelung, strumpftartigem Charakter und eingebauten Kunststoffstabilisatoren) und denjenigen „starrten“ Orthesen, die aufgrund der verwendeten Baumaterialien eine gewisse Restflexibilität in sagittaler und frontaler Ebene zulassen, hat sich als die effektivste Lösung erwiesen, die zu einer effizienten funktionellen Behandlung bzw. Vorbeugung einer Supinationsverletzung beitragen kann.