

Nauck T¹, Lohrer H¹, Gollhofer A²

Entwicklung und Validierung eines Sprunggelenkarthrometers zur Bestimmung der mechanischen Sprunggelenkinstabilität

Validation of a Noninvasive Ankle Arthrometer to Determine the Mechanical Component of Ankle Instability

¹Sportmedizinisches Institut Frankfurt am Main e.V., Frankfurt

²Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Valide und reliable Evaluationsinstrumente sind notwendig, um funktionelle und/oder mechanisch induzierte Kapselbandinstabilitäten zu identifizieren. Ziel der Arbeit war es, ein röntgenstrahlenfrei messendes Instrument (Sprunggelenkarthrometer) zur Erfassung der mechanischen Komponente zu entwickeln und zu validieren. **Methoden:** Für die Validierung am Leichenpräparat wurden 9 frische, anatomische Unterschenkel-/Fußpräparate im Sprunggelenkarthrometer bei verschiedenen Zugkräften und Sprunggelenkeinstellungen sowie sukzessiver Instabilisierung der lateralen Bänder getestet. Zusätzlich wurden stressradiologische Aufnahmen im Scheuba-Apparat und Sprunggelenkarthrometer angefertigt und miteinander korreliert. Die in vivo Evaluation des Sprunggelenkarthrometers wurde an 23 Probanden vorgenommen. Die Probanden füllten den FAAM-G Fragebogen aus und wurden einer manuellen Stabilitätsdiagnostik unterzogen. Zur Prüfung der Reproduzierbarkeit wurden sie zweimal im Sprunggelenkarthrometer mit 150 N und 200 N getestet. **Ergebnisse:** Mechanisch stabile und mechanisch instabile Sprunggelenke konnten mit dem Sprunggelenkarthrometer sowohl bezüglich der Gesamtauslenkung (mm) als auch der Stiffness (N/mm) voneinander differenziert werden ($p=0,012$ und $0,003$). Die stressradiologisch erhobenen Werte im Sprunggelenkarthrometer und Scheuba-Apparat korrelierten, wenn das Ligamentum fibulotalare anterius durchtrennt war ($\rho=0,71$). In vivo konnten mechanisch stabile und instabile Sprunggelenke differenziert werden ($p=0,000$ und $0,012$). Die Reliabilität war exzellent ($ICC=0,80$). **Diskussion:** Mechanische Sprunggelenkinstabilitäten können mit dem vorgestellten nicht invasiven und röntgenstrahlenfrei messenden Arthrometer zuverlässig diagnostiziert werden. Unter präventiven Aspekten könnten so Risikogruppen identifiziert werden. Der vorgestellte Sprunggelenkarthrometer ist ein geeignetes Messverfahren, um die mechanische Komponente der chronischen Kapselbandinstabilität zu evaluieren.

Schlüsselwörter: Sprunggelenk, chronische Kapselbandinstabilität, Mechanik, Arthrometer, Talusvorschub.

EINLEITUNG

Besonders unter therapeutischen Aspekten ist es notwendig, zwischen einer mechanischen und/oder funktionellen Sprunggelenkinstabilität zu differenzieren (11,25). Zur Evaluation werden patientenorientierte Fragebögen (funktionelle Instabilität) und/oder statische und dynamische Testverfahren eingesetzt, die qualitativ (manuelle Untersuchung, MRT) oder quantitativ (instrumentelle Untersuchung) zur Anwendung kommen (10,11,12,15,16,18,20,27,29,30,33).

SUMMARY

Introduction: Appropriate valid and reliable evaluation instruments are necessary to identify functional and/or mechanically-induced capsular ligament instabilities of the ankle. The first goal of the present study was to develop a non-radiographic device to objectively test mechanical ankle instability and to validate the device in a cadaver and in vivo study. **Methods:** For cadaver validation, nine cadaver specimens were tested under different plantarflexion angles and load applications. Following sequential ligament dissection, anterior drawer displacement, stiffness and radiographic instability were analysed. For in vivo validation, 23 subjects completed the FAAM-G questionnaire and underwent manually-performed ankle stability testing. To test the reliability, the subjects underwent stability evaluation using the ankle arthrometer testing procedure twice up to 200 N. **Results:** Stable and unstable ankles were differentiated by ankle arthrometer displacement and stiffness analyses ($p=0,012$ and $0,003$). Standardized stress testing device and ankle arthrometer stress radiographic measurements correlated significantly only in the group with anterior talofibular ligament dissection ($\rho=0,71$). For in vivo investigation, ankle arthrometer testing procedures were able to differentiate between the stable and unstable ankle groups ($p=0,000$ and $0,012$). Test-retest demonstrated accurate reliability ($ICC=0,80$). **Discussion:** Non-invasive and non-radiographic measurement instruments are essential to avoid chronic ankle instability and to identify people with an increased risk for ankle instability. The presented ankle arthrometer is an appropriate tool to evaluate the mechanical component of chronic ankle instability.

Key Words: Ankle, instability, measurement, anterior drawer, test devise.

Zur Erfassung und Quantifizierung der mechanischen Sprunggelenkinstabilität werden standardisierte Stresstests eingesetzt (7,17,24,25,26). Der Talusvorschub dient dabei der Integritätsprüfung in der sagittalen Ebene und wird als adäquater klinischer Test zur Messung der anterolateralen, oberen Sprunggelenkinstabilität angegeben (4,19,26,33). Einige Autoren sehen die manuelle Stabilitätsprüfung als effizient und als leicht einsetzbar an (7,32), während andere sie aufgrund einer möglichen Untersucherabhängigkeit, möglicher unkontrollierter muskulärer Gegenspannung des Patienten und subjektiver Interpretierbarkeit ablehnen (8,21).

Die stressradiologische Instabilitätsdiagnostik ist weit verbreitet und erfolgt in dafür entwickelten Halteapparaturen. Sie dient der Quantifizierung sowie Objektivierung der klinischen Diagnose (3,23,26). Sowohl präventive, als auch wiederholte Untersuchungen im Verlauf sind aus Gründen des Strahlenschutzes nicht möglich. In den vergangenen 10 Jahren wurden deshalb diverse statisch und dynamisch messende Sprunggelenk Stabilitätstester konstruiert, die die mechanische Komponente der chronischen, lateralen Sprunggelenkinstabilität evaluieren sollen (4,6,15,16,18,20,30). Aufgrund fehlender Validität, Reliabilität oder Praktikabilität konnte sich jedoch keines der Testinstrumente in der Praxis bisher zum routinemäßigen Einsatz durchsetzen (29).

Wir haben deshalb einen Arthrometer entwickelt und validiert, mit dem die mechanische Sprunggelenkinstabilität röntgenstrahlenfrei bestimmt werden soll.

METHODEN

Die Validierung des neu entwickelten Sprunggelenkarthrometers erfolgte zunächst im Leichenexperiment und sodann in vivo. Beide Teilstudien wurden bereits in internationalen peer Review Journalen veröffentlicht (28,29).

Sprunggelenkarthrometer

Der Sprunggelenkarthrometer besteht im Prinzip aus zwei, durch einen Gleitmechanismus schubladenartig miteinander verbundenen Elementen. Der Schienbeinhalter kann dabei in vorkonfektionierten Stufen (0°, 15°, 30°) in plantarflexorischer Richtung des Sprunggelenkes justiert werden (durch eine Röntgenanalyse konnten wir bereits in einem Vorversuch herausfinden, dass die vorkonfektionierten Einstellungen am Sprunggelenkarthrometer anatomischen 10°, 25°, 40° entsprechenden).

Die beiden Konstruktionsteile sind durch einen schlittenartigen Gleitmechanismus miteinander verbunden und ermöglichen so eine translatorische Bewegung des Fußes und der Sprunggelenke gegenüber dem Unterschenkel im Sinn eines Talusvorschubes. Die Kraftereinleitung von 50-200N erfolgt durch einem Hubzylinder (ME-Meßsysteme GmbH, Henningsdorf). Die relative Gesamtauslenkung (mm) des Schlittens bei Zugrichtung in anteriorer Richtung wird mit Hilfe eines Linearpotentiometers (Megatron GmbH, Putzbrunn) registriert. Zur weiteren Auswertung werden Kraft-Weg Kurven angefertigt, womit sich die Stiffness quantifizieren lässt (Abb. 1). Für die Validierung am Leichenpräparat wurde dafür die lineare Steigung im Bereich zwischen 25-45N errechnet, für die in vivo Validierung der Bereich zwischen 40-60N (28,29).

Validierung am Leichenpräparat

Für die Validierung am Leichenpräparat wurden 11 unterhalb des Knies abgesetzte anatomische Präparate (Alter 89±5 Jahre) untersucht. Zunächst wurden die anatomischen Präparate im Sprunggelenkarthrometer fixiert. Nach Kraftereinleitung (Talusvorschub) wurde eine seitliche Röntgenaufnahme des Sprunggelenkes angefertigt. Zur Evaluierung einer geeigneten Zugkraft und Sprunggelenkeinstellung wurde die Untersuchung dann mit 50N, 100N, 150N und 200N sowie in 0°, 15° und 30° Plantarflexion (Einstellung des Sprunggelenkarthrometers) durchgeführt. Danach wurden das Ligamentum fibulotalare anterius, Ligamentum fibulocalcaeare und Ligamentum fibulotalare posterius sukzessive durch-

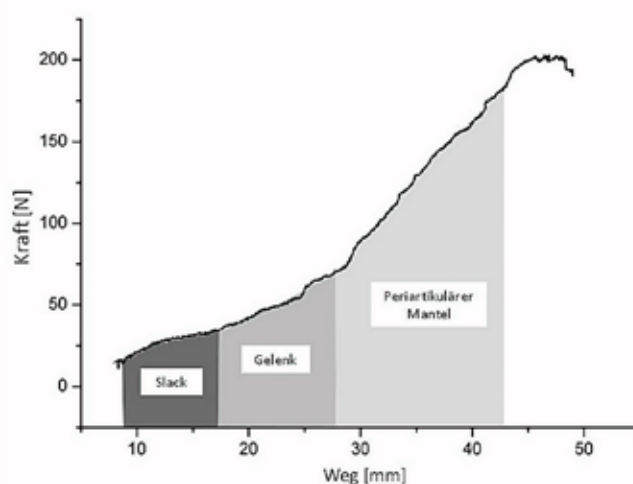


Abbildung 1: Beispiel einer Kraft-Weg Kurve (instabiler Patient). Eingezeichnet sind die drei während der Testung im Sprunggelenkarthrometer zuordenbaren Abschnitte. Der „Slackbereich“ charakterisiert die zuerst ablaufende Weichteilkompression, der „Gelenkbereich“ die anschließende Auslenkung des Sprunggelenkes und der „periartikuläre Mantel“ schließlich entspricht der Stiffness des Restsystems.

trennt. Die Testreihe wurde nach jedem Präparationsschritt wiederholt. Zusätzlich wurde bei den intakten Präparaten und nach jedem Präparationsschritt eine stressradiologische Aufnahme im Scheuba-Apparat (Talusvorschub) angefertigt. Zur Beurteilung der Kriteriumsvalidität wurden die radiologisch ermittelten Talusvorschubwerte (Scheuba-Apparat und Sprunggelenkarthrometer) mit den durch den Sprunggelenkarthrometer erhobenen Instabilitätswerten (Gesamtauslenkung und errechnete Stiffness) verglichen. Die diagnostische Übereinstimmungsvalidität des Testverfahrens wurde zwischen den stressradiologischen Erhebungen im Sprunggelenkarthrometer und dem Scheuba-Apparat bestimmt.

In vivo Validierung

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Landesärztekammer Hessen (Aktenzeichen FF 98/2009) genehmigt. Die 23 Probanden (13 Frauen, 10 Männer, Mitarbeiter einer klinischen Einrichtung) hatten ein durchschnittliches Alter von 24±12 Jahren, eine Größe von 172±8 cm und ein Gewicht von 69±16 Kg.

Zur Prüfung einer möglichen funktionellen Beteiligung füllten die Probanden zunächst einen patientenorientierten Sprunggelenkfragebogen aus (FAAM-G Fragebogen; 27). Danach wurden die Sprunggelenke durch eine manuelle Untersuchung (Talusvorschub und Taluskippen) als stabil oder instabil klassifiziert (HL). Die Testung im Sprunggelenkarthrometer erfolgte anschließend zweimal (Zugkraft = 150N und 200N).

Statistik

Die Daten wurden mit dem Softwarepaket Microsoft Office Excel 2007, Labview 6.9 (National Instruments, Austin, TX), SPSS 15.0 (SPSS GmbH, München) und Origin 8.0 (OriginLab Corporation, Northampton, USA) ausgewertet. Mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden alle Daten auf Normalverteilung geprüft und entsprechend der Ergebnisse parameterfreie oder parametrische Testverfahren angewandt.

	Median	Minimum	Maximum	95% CL	
				Unterer Bereich	Oberer Bereich
Scheuba-Apparat Röntgenbilder Intakte Bänder (mm)	9	6	11	7,3	9,8
Sprunggelenkarthrometer Röntgenbilder Intakte Bänder (mm)	6	4	10	4,9	8
Sprunggelenkarthrometer Gesamtauslenkung Intakte Bänder (mm)	9	4	19	5,6	15,1
Scheuba-Apparat LFTA Durchtrennung (mm)	10	8	12	8,7	11,1
Sprunggelenkarthrometer Röntgenbilder LFTA Durchtrennung (mm)	8	6	13	6,9	11,3
Sprunggelenkarthrometer Gesamtauslenkung LFTA Durchtrennung (mm)	14	8	25	10,2	19,3
Scheuba-Apparat Röntgenbilder LFTA, LFC Durchtrennung (mm)	13	9	15	11,2	14,6
Sprunggelenkarthrometer Röntgenbilder LFTA, LFC Durchtrennung (mm)	13	9	16	10,9	14,4
Sprunggelenkarthrometer Gesamtauslenkung LFTA, LFC Durchtrennung (mm)	17	6	29	12,1	24,3
Scheuba-Apparat Röntgenbilder LFTA, LFC, LFTP Durchtrennung (mm)	14	12	19	13	16,5

Tabelle 1: Ergebnisse der eingesetzten Evaluationsinstrumente bei der Leichenpräparat Evaluation des Sprunggelenkarthrometers. Dargestellt sind Median, Minimum und Maximum, das untere und obere 95 % Konfidenzintervall (CI). LFTA = Ligamentum fibulotalare anterius, LFC= Ligamentum fibulo-calcaneare, LFTP = Ligamentum fibulotalare posterius.

Validierung am Leichenpräparat

Der Unterschied zwischen stabilen (n=9) und instabilen (n=27) Testbedingungen im Vergleich zu den Messwerten des Sprunggelenkarthrometers erfolgte mittels des Kruskal-Wallis Tests. Der Vergleich zu den Messwerten, die im Scheuba-Apparat generiert wurden, erfolgte mit der Spearman-Korrelation. Die diagnostische Validität des Sprunggelenkarthrometers (im Vergleich zum Scheubaapparat) wurde mittels einer Vierfeldertafel (Sensitivität, Spezifität, negativer sowie positiver prädikter Wert) bestimmt.

In vivo Validierung

Der Unterschied zwischen der als mechanisch stabil und mechanisch instabil definierten Gruppe wurde mit dem ungepaarten T-Test errechnet. Die Reliabilität des Testverfahrens wurde mit dem Interklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) geprüft. Die Pearsonkorrelation wurde eingesetzt, um den Zusammenhangsgrad zwischen den Ergebnissen des FAAM-G Fragebogens und der Stiffness zu bestimmen.

ERGEBNISSE

Validierung am Leichenpräparat

• Einstellung des Sprunggelenkarthrometers und Zugkraftbestimmung

Mit zunehmender Instabilisierung der Sprunggelenke (sukzessives Durchtrennen der Außenbänder) vergrößerte sich die im Sprunggelenkarthrometer gemessene Gesamtauslenkung (mm). Die deutlichste Differenzierung zwischen der stabilen

Sprunggelenkgruppe (n=9) und der instabilen Sprunggelenkgruppe (n=21) war bei 0° Plantarflexion (Einstellung Sprunggelenkarthrometer) und 50N Zugkraft möglich (p=0,012). Bei 100N, 150N und 200N Zugkraft ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (p=0,134 bis 0,411). Bei 15° und 30° Plantarflexion (Einstellung Sprunggelenkarthrometer) war es ebenfalls nicht möglich die beiden Sprunggelenkgruppen voneinander zu differenzieren (p=0,257 bis 0,770). Die Stiffness reduzierte sich durch zunehmende Instabilisierung, am deutlichsten bei 0° (Einstellung Sprunggelenkarthrometer) und 50N Zugkraft (p=0,003; Abb.2). Aufgrund der Ergebnislage wurden die weitergehenden Analysen am Leichenpräparat nur für die SGA-Einstellung von 0° Plantarflexion (Einstellung Sprunggelenkarthrometer) und 50N Zugkraftapplikation vorgenommen.

• Radiologische Stresstestungen

Die radiologischen Stresstestungen im Scheuba-Apparat und Sprunggelenkarthrometer zeigten eine Zunahme des Talusvorschubes nach sukzessivem Durchtrennen der einzelnen Sprunggelenkbänder (median 6,0 bis 19mm; Tab.1).

• Diagnostische Validität

Die Auswertung der mit dem Sprunggelenkarthrometer generierten Werte (Stiffness und Gesamtauslenkung) sowie die radiologisch erhobenen Werte (Scheuba-Apparat und Sprunggelenkarthrometer) ergaben in der Leichenpräparate Testung eine Sensitivität von 81,5% bis 96,3% eine Spezifität von 44,4% bis 88,9%, positive prädikte Werte von 83,9 bis 95,7% und negativen prädikte Werte von 54,5 bis 80,0%. Die Ergebnisse der stressradiologischen Testungen im Sprunggelenkarthrometer

Tabelle 2: Übersichtstabelle über die Ergebnisse der mechanischen Testung im Sprunggelenkarthrometer (Stiffness) und der funktionellen Testung durch den FAAM-G Fragebogen mit Alltagsaktivitätenteilbereich (ADL) und Sportteilbereich. Durch die manuell durchgeführte Stabilitätsdiagnostik wurden die getesteten Personen in eine mechanisch instabile und eine mechanisch stabile Gruppe eingeteilt. Dargestellt sind der Mittelwert \pm Standardabweichung sowie die Irrtumswahrscheinlichkeit (p).

Manuelle Stabilitätsdiagnostik				
	Stabile Sprunggelenke	Instabile Sprunggelenke	p	
Sprunggelenkarthrometer (Stiffness) 1. Messung	4,4 \pm 0,9 N/mm	2,6 \pm 1,1 N/mm	0,001	
Sprunggelenkarthrometer (Stiffness) 2. Messung	4,4 \pm 0,8 N/mm	2,9 \pm 1,3 N/mm	0,012	
FAAM-G Fragebogen	ADL	99,4 \pm 1,7 %	91,9 \pm 9,2 N/mm	0,046
	Sport	98,1 \pm 3,7 %	81,1 \pm 18,9 %	0,029

und dem Scheuba-Apparat korrelierten hoch ($\rho=0,73$ bis $0,94$; $p=0,000$ bis $0,027$).

• Kriteriumsvalidität

Die mit dem Sprunggelenkarthrometer erfasste Gesamtauslenkung (mm) korrelierte nur für die Versuchsbedingung "Ligamentum fibulotalare anterius durchtrennt" mit den radiologisch erhobenen Werten des Sprunggelenkarthrometers ($\rho=0,71$; $p=0,033$). Die Ergebnisse der Stiffnessanalyse korrelierten dagegen nicht mit den stressradiologisch erhobenen Instabilitätswerten am Sprunggelenkarthrometer ($\rho=-0,55$ bis $0,16$; $p=0,154-0,977$).

In vivo Validierung

• Sprunggelenkarthrometer

Die durch den manuellen Stabilitätstest eingeteilten Gruppen (mechanisch stabil und mechanisch instabil) konnten sowohl bei 150 N als auch 200 N Zugkraft signifikant durch die Stiffness voneinander differenziert werden ($p < 0,001$ und $0,012$; Tab. 2).

• FAAM-G Fragebogen

Der FAAM-G Fragebogen wurde sowohl für den Alltagsaktivitätenteilbereich als auch für den Sportteilbereich von der als mechanisch instabil definierten Sprunggelenkgruppe niedriger beantwortet als von der mechanisch stabil definierten Sprunggelenkgruppe ($p=0,046$ und $0,029$; Tab. 2).

• Reliabilität

Die Reliabilität des Arthrometers bei Testwiederholung war $ICC=0,80$.

• Zusammenhang zwischen

Stiffness und FAAM-G Fragebogen

Zwischen der berechneten Stiffness und den FAAM-G Fragebogenteilbereichen war nur ein geringer bis mittlerer Zusammenhang erkennbar ($r=0,43$ und $0,54$; $p=0,01$ und $0,04$).

DISKUSSION

Der neu entwickelte, strahlenfrei messende und transportable Sprunggelenkarthrometer kann zwischen mechanisch stabilen und mechanisch instabilen Sprunggelenken zuverlässig differenzieren (28,29). Eine hohe Zugkraft ist dabei nicht erforderlich. Darauf ha-

ben bereits Tohyama et al. (31) in einer Studie mit Leichenpräparaten hingewiesen.

Die Tatsache, dass durch sukzessives Durchtrennen der OSG-Außenbänder sowohl in der radiologischen Auswertung, als auch in der Sprunggelenkarthrometer spezifischen Auswertung (Gesamtauslenkung und Stiffness) die Instabilität zunimmt, ist bereits durch mehrere Studien am Leichenpräparat gestützt (1,8,14,22).

Die diagnostische Validität des Untersuchungsverfahrens am Leichenpräparat zeigt für die Sprunggelenkarthrometer spezifischen Auswertparameter Stiffness (N/mm) und Gesamtauslenkung (mm) eine hohe Sensitivität

von über 90%. Diese Kennwerte liegen für die bisher in der Literatur beschriebenen, röntgenstrahlenfrei messenden Sprunggelenkarthrometer nicht vor (4,5,14,16,18,30,34). Für die im klinischen Alltag eingesetzten diagnostischen Verfahren zur Bestimmung der mechanischen Sprunggelenkinstabilität werden unterschiedliche Angaben gemacht. So wird für die kernspintomographische Untersuchung eine Sensitivität von 50-74% und eine Spezifität von 100% angegeben (2). Mit Hilfe des Kernspintomographen kann jedoch nur die Morphologie und nicht die Funktion dargestellt werden. Ein weiterer Nachteil ist der hohe Kosten-, Zeit- und Untersuchungsaufwand, so dass sie auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht für den routinemäßigen Gebrauch geeignet scheint.

Mit der kostengünstigeren Sonographieuntersuchung kann eine dynamische Funktionsprüfung vorgenommen werden. Für die klinische Validität der Sonographie, eine mechanische Kapselbandinstabilität zu identifizieren, wird eine Sensitivität von 85% und einer Spezifität von 90% angegeben (13). Die Schwierigkeit der dynamischen Funktionsprüfung unter Sonographiekontrolle liegt jedoch in der Reproduzierbarkeit (13).

Für die klinische Testung wird eine Sensitivität von 84% und eine Spezifität mit 95% angegeben (32). Einige Autoren befürworten die klinische Testung aufgrund der leichten Einsetzbarkeit (7,32), während andere sie aufgrund einer möglichen Untersucherabhängigkeit, möglicher muskulärer Gegenspannung des Patienten und subjektiver Interpretierbarkeit ablehnen (8,21). Eine Quantifizierung (intervallskaliert) ist darüber hinaus nicht möglich, wohl aber eine Klassifizierung zwischen stabil und instabil.

Die stressradiologisch erhobenen Instabilitätswerte im Scheuba-Apparat korrelierten mit den radiologisch erhobenen Werten im Sprunggelenkarthrometer für alle Testoptionen hoch ($\rho=0,73$ bis $0,94$). Dieser Befund stützt Ergebnisse, die mit vergleichbaren Arthrometern bereits publiziert sind (4,15).

Der Vergleich zwischen den radiologisch erhobenen Instabilitätswerten und den Sprunggelenkarthrometervariablen Stiffness (N/mm) und Gesamtauslenkung (mm) fiel hingegen mit mittleren bis niedrigen Korrelationen ungünstig aus ($\rho=-0,55$ bis $0,71$). Im Gegensatz dazu konnte Spahn (30) eine hohe Korrelation zwischen den Ergebnissen stressradiologischer Aufnahmen im Scheuba-Apparat und den Ergebnissen eines manuellen „ankle meters“ nachweisen ($r=0,91$). Nachteilig scheint jedoch die untersucherabhängige Durchführung der Testung zu sein.

Generell wurden in bisherigen Publikationen zu in vivo Untersuchungen mit Sprunggelenktestern kaum Angaben über Steifigkeitsberechnungen zur Quantifizierung der mechanischen Sprunggelenk-

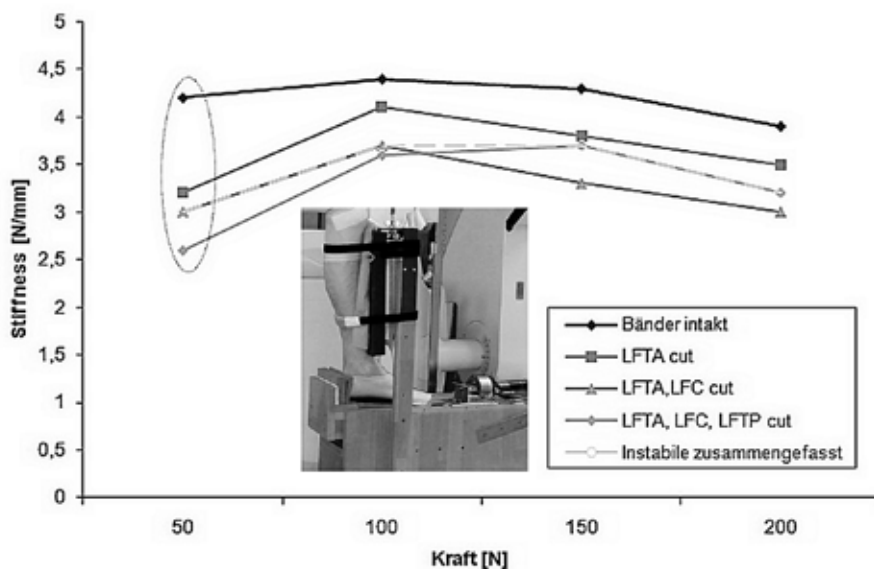


Abbildung 2: Verlauf der Sprunggelenkinstabilität (Stiffness) bei intaktem Präparat und nach sukzessiver Durchtrennung der Bänder Ligamentum fibulotalare anterius (LFTA), Ligamentum fibulocalcaneare (LFC) und Ligamentum fibulotalare posterius (LFTP) in Abhängigkeit von den eingeleiteten Zugkräften (50N-200N). Dargestellt ist jeweils der Medianwert. Bei 50 Newton liegen signifikante Unterschiede zwischen der stabilen Sprunggelenkgruppe und der instabilen Sprunggelenkgruppe vor ($p=0,003$) (28). Dargestellt ist zudem die Einstellung eines Leichenpräparates in die Sprunggelenkarthrometer Testapparatur.

instabilität gemacht (28,29). Die Ergebnisse unserer Versuche am Leichenpräparat und in vivo Studien zeigen, dass die mechanisch induzierte Sprunggelenkinstabilität mit einer niedrigeren Stiffness bei 40-60N Zugkraft korreliert. Nach Videoanalyse der einzelnen Versuche ist es wahrscheinlich, dass das Gelenk bereits in einem niedrigen Belastungsbereich ausgelenkt ist (Abb.2).

Im Gegensatz dazu fand eine amerikanische Forschergruppe (9), eine erhöhte Stiffness bei mechanisch instabilen Sprunggelenken im Vergleich zu einem unverletzten Kontrollkollektiv. Eine andere Studie zeigte höhere Stiffnesswerte bei chronisch instabilen Sprunggelenken im Vergleich zur einer Copergruppe. (Patienten, die schon mal ein Kapselbandverletzung erlitten hatten, jedoch keine Anzeichen einer chronischen Instabilität zeigten) und einer gesunden Kontrollgruppe ($p=0,045$). Die Unterschiede zwischen den getesteten Gruppen sind in dieser Untersuchung zwar signifikant, klinisch aber irrelevant ($14,98\text{N/mm} \pm 2,0\text{N/mm}$ bei den Coper, $14,95\text{N/mm} \pm 2,04\text{N/mm}$ bei den chronisch instabilen Patienten und $14,01\text{N/mm} \pm 2,6$ bei der Kontrollgruppe) (34). Es ist darüber hinaus unklar, warum diese Werte um den Faktor 6-7 höher liegen als die von uns gefundenen.

Mögliche Gründe für die Inkonsistenzen der Ergebnisse verschiedener Autoren könnten unterschiedliche Fallzahlen, Fußpositionierung in der Testungsapparatur, differenten Zugkräfte, Zuggeschwindigkeit und/oder Art der Zugkräfteinleitung sein, die allesamt direkte Auswirkungen auf die resultierende Sprunggelenkbewegung haben (6).

Der Zusammenhang zwischen dem mechanischen Evaluationsinstrument (Sprunggelenkarthrometer) und dem funktionellen Evaluationsinstrument (FAAM-G Fragebogen) war nur mäßig ausgeprägt ($r=0,54$ und $0,43$; $p=0,01$ und $0,04$). Mögliche Gründe hierfür können zum einen die Zusammensetzung der Testgruppe (Mitarbeiter einer klinischen Einrichtung ohne Leidensdruck bezüglich einer etwaigen mechanischen Sprunggelenkinstabilität) und zum anderen die kleine Fallzahl sein.

Die Reproduzierbarkeit unseres Sprunggelenkarthrometers in vivo war exzellent ($\text{ICC}=0,80$) und mit der Referenzliteratur vergleichbar (5,6,15).

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Teile des Projektes (IIA-071502/08) wurden durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert.

LITERATUR

- BAHR R, LIAN O, BAHR IA: A twofold reduction in the incidence of acute ankle sprains in volleyball after the introduction of an injury prevention program: a prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports* 7 (1997) 172-177.
- BREITENSEHER MJ: Akutes Trauma des Sprunggelenkes. *Radiologie* 39 (1999) 16-24.
- COLVILLE MR: Reconstruction of the Lateral Ankle Ligaments. *J Bone Joint Surg Am* 76 (1994) 1092-1102.
- DE VRIES JS, KERKHOFFS GM, BLANKEVOORT L, VAN DIJK CN: Clinical evaluation of a dynamic test for lateral ankle ligament laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18 (2010) 628-633.
- DOCHERTY CL, GANSNEDER BM, ARNOLD BL, HURWITZ SR: Development and reliability of the Ankle Instability Instrument. *J Athl Train* 41(2006) 154-158.
- DOCHERTY CL, RYBAK K: Reliability of the anterior drawer and talar tilt tests using the LigMaster® joint arthrometer. *J Sport Rehab* 18 (2009) 389-297.
- FREY C, BELL J, TERESI L, KERR R, FEDER KA: Comparison of MRI and clinical examination of acute lateral ankle sprains. *Foot Ankle Int* 17 (1996) 533-37.
- FUJII T, LUO ZP, KITAOKA HB, AN KN: The manual stress test may not be sufficient to differentiate ankle ligament injuries. *Clin Biomech*, 15 (2000) 619-623.
- HUBBARD TJ: Ligament laxity following inversion injury with and without chronic ankle instability. *Foot Ankle Int* 29 (2008) 305-311.
- HUBBARD TJ, KAMINSKI TW, VANDER GRIEND RA, KOVALESKI JE: Quantitative assessment of mechanical laxity in the functionally unstable ankle. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 760-766.
- HUBBARD TJ, OLMSTED-KRAMER LC, HERTEL J, SHERBONDY P: Anterior-posterior mobility of the talus in subjects with chronic ankle instability. *Phys Ther Sport* 6 (2005) 146-152.
- KARLSSON J, BERGSTEN T, LANSINGER O, PETERSON L: Surgical treatment of chronic lateral instability of the ankle joint. A new procedure. *Am J Sports Med* 17 (1989) 268-273.

13. **KEMEN M, ERNST R, BAUER KH, WEBER A, ZUMTOBEL V:** Sonographische Beurteilung der chronischen Außenbandinstabilität am oberen Sprunggelenk. *Unfallchir* 94 (1991) 614-618.
14. **KERKHOFFS GM, BLANKEVOORT L, SCHREURS AW, JASPERS JEN, VAN DIJK CN:** An instrumented, dynamic test for anterior laxity of the ankle joint complex. *J Biomech* 35 (2002) 1665-1670.
15. **KERKHOFFS GM, BLANKEVOORT L, SIEREVELT IN:** Two ankle joint laxity testers: reliability and validity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13 (2005) 699-705.
16. **KERKHOFFS GM, BLANKEVOORT L, VAN DIJK CN:** A measurement device for anterior laxity of the ankle joint complex. *Clin Biomech* 20 (2005) 218-222.
17. **KERKHOFFS GM, ROWE BH, ASSENDELFT WJ:** Immobilization for Acute Ankle Sprain: A Systematic Review. *Arch Orthop Trauma Surg* 121 (2001) 462-471.
18. **KIRK T, SAHA S, BOWMAN LS:** A new laxity tester and its use in the measurement of the effectiveness of taping. *Med Eng Phys* (2000) 723-731.
19. **KLENERMAN L:** Why an Ankle Arthroplasty? in: H. Kofoed (Hrsg): *Current Status of Ankle Arthroplasty*. Springer, Berlin Heidelberg, 1998.
20. **KOVALESKI JE, NORRELL PM, HEITMAN RJ, HOLLIS JM, PEARSALL AW:** Knee and ankle position, anterior drawer laxity, and stiffness of the ankle complex. *J Athl Train* 43 (2008) 242-248
21. **LAHDE S, PUTKONEN M, PURANEN J, RAATIKAINEN T:** Examination of the sprained ankle: anterior drawer test or arthrography? *Eur J Radiol* 8 (1988) 255-257.
22. **LAPOINTE SJ, SIEGLER S, HILLSTROM H, NOBILINI RR, MLODZIENSKI A, TECHNER L:** Changes in the flexibility characteristics of the ankle complex due to damage to the lateral ligaments: an in vitro and in vivo study. *J Orthop Res* 15 (1997) 331-341.
23. **LAURIN CA, OUELLET R, ST-JACQUES R:** Talar and subtalar tilt: an experimental investigation. *Can J Surg* 11(1968) 270-279.
24. **LOHRER H, ALT W, GOLLHOFER A, RAPPE B:** Verletzungen am lateralen Kapselbandapparat des Sprunggelenks - eine Übersicht. *Dtsch Z Sportmed* 51 (2000) 196-203.
25. **LOHRER H, NAUCK T:** Das Supinationstrauma des Fußes. Eine Übersicht unter besonderer Berücksichtigung der calcaneocuboidalen Kapselbandverletzung. *Dtsch Z Sportmed* 57 (2006) 271-276.
26. **LOHRER H, NAUCK T, ARENTZ S, SCHÖLL J:** Observer Reliability in Ankle and Calcaneocuboid Stress Radiography. *Am J Sports Med* 36 (2008) 1143-1149.
27. **NAUCK T, LOHRER H:** Translation, cross-cultural adaptation and validation of the German version of the Foot and Ankle Ability Measure for patients with chronic ankle instability. *BJSM* published online first (2009) doi:10.1136/bjism.2009.067637.
28. **NAUCK T, LOHRER H, GOLLHOFER A:** Evaluation of Arthrometer for Ankle Instability: A Cadaveric Study. *Foot Ankle Int* 31 (2010) 612-618.
29. **NAUCK T, LOHRER H, GOLLHOFER A:** A Clinical evaluation of a new non-invasive ankle arthrometer. *Phys Sportsmed* 38 (2010) 55-61.
30. **SPAHN G:** The ankle meter: an instrument for evaluation of anterior talar drawer in ankle sprain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 12 (2004) 338-342.
31. **TOHYAMA H, YASUDA K, OHKOSHI Y, BEYNNON BD, RENSTROM PA:** Anterior drawer test for acute anterior talofibular ligament injuries of the ankle. How much load should be applied during the test? *Am J Sports Med* 31 (2003) 226-232.
32. **VAN DIJK CN, LIM LS, BOSSUYT PM, MARTI RK:** Physical examination is sufficient for the diagnosis of sprained ankles. *J Bone Joint Surg Br* 178 (1996) 958-962.
33. **WIKSTROM EA, TILLMAN MD, CHMIELEWSKI TL, CAURAUGH JH, NAUGLE KE, BORSA PA:** Self-assessed disability and functional performance in individuals with and without ankle instability: a case control study. *J Orthop Sports Phys Ther* 39 (2009) 458-467.
34. **WIKSTROM EA, TILLMAN MD, CHMIELEWSKI TL, CAURAUGH JH, NAUGLE KE:** Dynamic postural control but not mechanical stability differs among those with and without chronic ankle instability. *Scand J Med Sci Sports* 20 (2010) e137-e144cv.

Korrespondenzadresse:

Dr. Tanja Nauck

Sportmedizinisches Institut Frankfurt am Main e.V.

Clinical Research Associate/Orthopädie

Otto-Fleck-Schneise 10

60528 Frankfurt am Main

E-Mail: nauck@smi-frankfurt.de