



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/authorsrights>

**Zusammenfassung**

**Hintergrund:** Ziel vorliegender Studie war es herauszufinden, inwieweit Achillessehnen-Tendinopathien mit verminderter Sehnenqualität gleichzeitig zu einem Funktionsverlust des musklotendinösen Systems führen. Dabei sollte der Zusammenhang der biomechanischen Werte der isokinetischen Maximalkraftmessung sowie der Ganganalyse bei Patienten mit Achillessehnentendinosen mit den in der TDI-Elastosonografie ermittelten Strain-Werten der Sehnen überprüft werden.

**Material und Methoden:** Die Sehnenqualität bei Achillessehnen-Tendinopathien wurde mithilfe der TDI-Elastosonografie bei 25 Sportlern ( $\bar{A}$  48±10.2 Jahre) bestimmt. Zusätzlich wurde mit den Probanden eine Fussabdruckanalyse (FDM-T, zebri Medical GmbH) sowie eine isokinetische Kraftmessung (Humac<sup>®</sup>NormTM, CSMI) durchgeführt.

**Ergebnisse:** Es zeigten sich mittlere Zusammenhänge zwischen der Kraft der Plantarflexoren und der Höhe der Strain-Werte (Sehnenqualität) mit  $r=0.473$  (absolut) und  $r=0.554$  (normiert KG). Zusätzlich zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Kraftdefizit der Plantarflexoren auf der betroffenen Seite und den Strain-Werten mit  $r=0.794$ .

**Schlussfolgerungen:** In der Gesamtbeurteilung einer Achillessehnenpathologie können die elastosonografische als auch die biomechanische Untersuchung neben Anamnese und klinischem Befund zusätzliche Hinweise für eine differenzierte und ursachenorientierte Therapiewahl geben.

**Evidenzebene:** III

**Schlüsselwörter**

Diagnostik – TDI-Elastosonografie – Strain – Isokinetik – Ganganalyse

M. Mauch, H-J Rist

**Biomechanical characteristics in Achilles tendinopathies and their correlation with the tendon quality determined using TDI elastosonography**

## ORIGINALARBEIT/ORIGINAL PAPER

# Biomechanische Eigenschaften bei Achillessehnen-Tendinopathien und deren Korrelation mit der elastosonografisch bestimmten Sehnenqualität

Marlene Mauch, Hans-Joachim Rist  
Praxisklinik Rennbahn AG

Eingegangen/submitted: 31.01.2013; akzeptiert/accepted: 24.07.2013

**Einleitung**

**D**ie Achillessehnen-Tendinopathie zählt zu den häufigsten Überlastungsbeschwerden bei Sportlern, insbesondere bei Läufern [8].

Überlastungsreize werden dabei als eine Hauptursache für die Entstehung von Tendinopathien gesehen. Überlastungen treten dann auf, wenn die Belastbarkeit eingeschränkt und/oder die Belastungsintensität zu hoch ist. Die Belastbarkeit kann durch gestörte funktionelle Belastung des Sprunggelenks infolge Achsenfehlstellungen (z. B. ein Rückfußvalgus/-varus), funktioneller Instabilität des Fußes mit Hyperpronation/-supination oder gestörter Gelenkexkursionen eingeschränkt sein [8]. Im Weiteren können auch stoffwechselbedingte Gewebeeränderungen (Hyperurikämie), Medikamente (Corticoide, bestimmte Cholonantibiotika) und rheumatische Erkrankungen einen Sehnen Schaden begünstigen [9].

Neben klinischen und laborchemischen Untersuchungen werden diagnostisch bildgebende Verfahren, wie Röntgen, MRI und Sonografie

inklusive Dopplertechniken sowie auch funktionelle, biomechanische Messungen eingesetzt, um das geeignete therapeutische Vorgehen einzuleiten.

In jüngster Zeit werden im Bereich der sonografischen Diagnostik verfeinerte Techniken, wie die Shearwave-Elastosonografie [1,2] und die TDI-Elastosonografie eingesetzt, um die Sehnenqualität zu beurteilen [6,7,14,15]. Diese Methode erlaubt die mechanischen Eigenschaften der Sehne quantitativ zu messen, um so Läsionen aufzudecken oder zu charakterisieren. Im Unterschied zu Systemen mit parametrischer Darstellung, die lediglich eine qualitative Aussage anhand eines Farbschemas erlauben, gelingt die Bestimmung der Sehnenqualität durch Anwendung der so genannten „Tissue-Doppler-Imaging“ (TDI)-Technik quantitativ-numerisch durch die Ermittlung des so genannten „Strain-Scores“. Hohe Strain-Scores sind Ausdruck einer verminderten („weichen“) Sehnenqualität. Studien haben gezeigt, dass für Tendinopathien Strain-Werte von durchschnittlich  $0,108\pm 0,026$  (Range 0,067-0,171)

**Abstract**

**Background:** The aim of this study was to assess the correlation of the (reduced) quality of tendons in Achilles tendinopathy and the efficiency of the muscle-tendon system. Thereby the biomechanical variables of the isokinetic strength as well as the gait analysis in patients with Achilles tendinopathy were correlated to the strain scores of the TDI elastosonography.

**Materials and Methods:** The tendon quality in Achilles tendinopathies was determined using the TDI elastosonography in 25 athletes ( $\bar{A}$  48±10.2 years). Additionally, a plantar pressure analysis (FDM-T, zebris Medical GmbH) as well as an isokinetic strength test (Humac<sup>®</sup>NormTM, CSMI) was conducted with the subjects.

**Results:** There were moderate correlations between the strength of the plantar flexors and the amount of the strain scores (tendon quality) with  $r=0.473$  (absolut) und  $r=0.554$  (normalized KG). Additionally, there was a significant correlation between the strength deficit of the plantar flexors on the injured side and the amount of the strain scores with  $r=0.794$ .

**Conclusions:** Next to the anamnesis and clinical finding the elastosonography as well as the biomechanical examination can be used in a comprehensive assessment of Achilles pathology to provide additional information for a differentiated and cause related choice of therapy.

**Level of Evidence:** : III

**Keywords**

Diagnosis– TDI elastography– strain– isokinetic– gait analysis

und höher als pathologisch gelten dürfen [14].

Biomechanische Analysen können als weiteres diagnostisches Werkzeug eingesetzt werden, um funktionelle Defizite zu ermitteln. Für die Achillessehne bietet sich hierbei die isokineticische Maximalkraftmessung der Plantarflexion und Dorsalextension des oberen Sprunggelenkes an. Dies ermöglicht einerseits die Ermittlung der Kraftqualitäten, andererseits über die Beurteilung der Seitendifferenz eine quantitative Aussage über das Funktionsdefizit des muskulotendinösen Systems. Zusätzlich zur isokineticischen Kraftmessung erlaubt die Auswertung der Kraftkurven in der Ganganalyse Rückschlüsse auf eine Funktionseinschränkung in der Abrollbewegung des Fußes.

Während die Beurteilung der Achillessehne mittels Elastosonografie [4,5,7,14] gut belegt und untersucht ist, liegen derzeit nur wenige Studien über biomechanische Funktionsverluste bei Tendinopathien der Achillessehne vor. Das vorliegende Studienmaterial beschränkt sich vornehmlich auf die Quantifizierung des Therapieerfolgs nach verschiedenen operativen oder konservativen Behandlungen von Achillessehnenrupturen [3,11,12], während die Datenlage zu Achillessehnen-Tendinopathien ohne Ruptur beschränkt ist [9,10].

**Ziel der Studie**

Ziel vorliegender Studie war es herauszufinden, inwieweit Achillessehnen-Tendinopathien mit verminderter Sehnenqualität, dokumentiert durch erhöhte Strain-Werte in der TDI-Elastosonografie, gleichzeitig zu einem Funktionsverlust des muskulotendinösen Systems führen. Dabei sollte der Zusammenhang der biomechanischen Werte der isokineticischen Maximalkraftmessung sowie

der Ganganalyse bei Patienten mit Achillessehnen-Tendinosen mit den in der Elastosonografie ermittelten Strain-Werten der Sehnen überprüft werden.

**Material und Methoden**

Um den Zusammenhang zwischen der Kraft und der Sehnenqualität zu überprüfen, wurden symptomatische Achillessehnen evaluiert. Die Achillessehnen von 25 Patienten (♂ 16, ♀ 9; 48±10,2 Jahre; Körpergröße: 176,6±8,7 cm, Gewicht: 78,2±13,6 kg) wurden im Rahmen der Studie untersucht. Eingeschlossen wurden dabei Patienten mit diagnostizierter Tendinose und einem Aktivitätsniveau von Tegner Score [16] >4. Ausgeschlossen wurden Probanden mit ausgiebiger Teilruptur, Voroperationen, schweren internistischen und entzündlich rheumatischen Erkrankungen, Inaktivität sowie Übergewicht. Die Diagnose der Tendinose erfolgte anamnestisch und durch einen klinischen Befund, sowie eine B-Mode-Sonografie inklusive Power-Doppler. In 22 von 25 Fällen wurde zusätzlich ein MRT durchgeführt. Hinsichtlich des sportlichen Belastungsprofils wiesen die Patienten ein heterogenes Aktivitätsniveau auf: 22 Breitensportler und drei Leistungssportler aus den Sportarten Laufen (n=8), Spilsport (n=6), Fitness (n=3), Golf, Walking, Trekking (n=4) und sonstigen Sportarten (n=4).

**Sonografie**

Die Bestimmung der Sehnenelastizität erfolgte mithilfe der TDI-Elastosonografie (Aplio MX, Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japan) mit einer 4 cm langen, hochauflösenden 18-MHz-Linear-Sonde. Die Sonde wurde dabei auf ein 1 cm dickes Gel-Pad appliziert. Die Qualität der Sehne wurde anhand von so genannten

ORIGINALARBEIT

Sport Orthop. Traumatol. 29, 314–320 (2013)

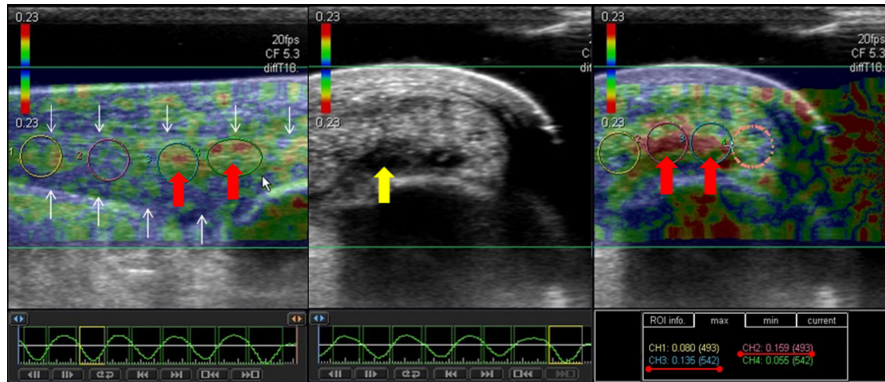


Abbildung 1

Links: Elastasonografie einer distalen Achillessehnentendinose (longitudinal), Kontur der distal verdickten Sehne zwischen den weißen Pfeilen, rote Pfeile zeigen Regions of Interest (ROI) mit pathologischen Strain-Scores; Mitte: Querschnitt durch einen verdächtigen, im B-Mode echoarmen Bereich (gelber Pfeil) der Achillessehne; Rechts: zum B-Mode gehöriges elastasonografisches Bild mit pathologischen Strain Scores in den ROIs L2 und L3.

Strain-Scores quantifiziert, wobei hohe Strain-Scores „weiche“, pathologische Sehnenveränderungen anzeigen (Abb. 1) [14,15].

Alle Sehnen wurden sowohl im Längsschnitt als auch im Querschnitt untersucht, wobei aufgrund der Datenmenge und -qualität für die nachfolgende Datenauswertung lediglich die Längsschnittdaten analysiert wurden. Die Untersuchung der Achillessehne erfolgte in entspannter Bauchlage des Patienten mit über der Liege hinausragendem Sprunggelenk/Fuß. Die Einstellung im Längsschnitt erfolgte so, dass das Tuberculum calcanei am rechten Bildrand abgebildet wurde (Abb. 1) [14].

**Biomechanik**

Die Funktion der Achillessehne respektive die Kraft, die diese auf die beteiligte Muskulatur übertragen kann, wurden mithilfe der Fußabdruckanalyse (FDM-T, zebris Medial GmbH, Deutschland) auf dem Laufband im Gehen untersucht. Dabei wurde die maximale Abstoßkraft (F2max) absolut und normiert zum Körpergewicht (N/kg) betrachtet (Abb. 2).

Zusätzlich wurde für das obere Sprunggelenk (OSG) eine isokinetische Maximalkraftmessung (Humac<sup>®</sup>

Norm<sup>TM</sup>, CSMI) durchgeführt. Hierbei wurde das maximale Drehmoment in der Plantarflexion und Dorsalextension (Nm) betrachtet (Abb. 3).

In der biomechanischen Untersuchung wurden jeweils die verletzte als auch die nicht betroffene Seite gemessen. Die Messung erfolgte dabei jeweils zuerst mit der nicht betroffenen Seite, dann mit der betroffenen Seite. Für alle Variablen wurde das Defizit der symptomatischen zur

asymptomatischen Seite berechnet (%).

**Statistik**

Die Analyse der biomechanischen Variablen erfolgte zunächst anhand der deskriptiven Statistik (Mittelwerte, Standardabweichung). Der Zusammenhang zwischen der Sehnenqualität (Strain-Werte) und der Kraft (Fmax, Mmax, Defizit Fmax, Defizit Mmax) wurde anschließend

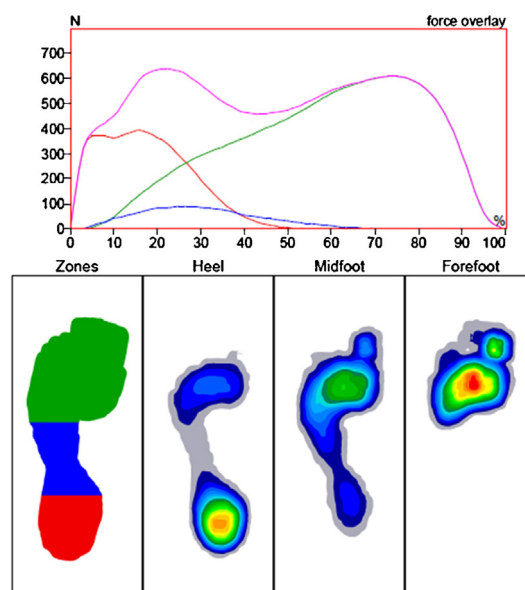


Abbildung 2  
Abbrems- und Abstoßkraft (N) beim Abrollvorgang im Gehen.



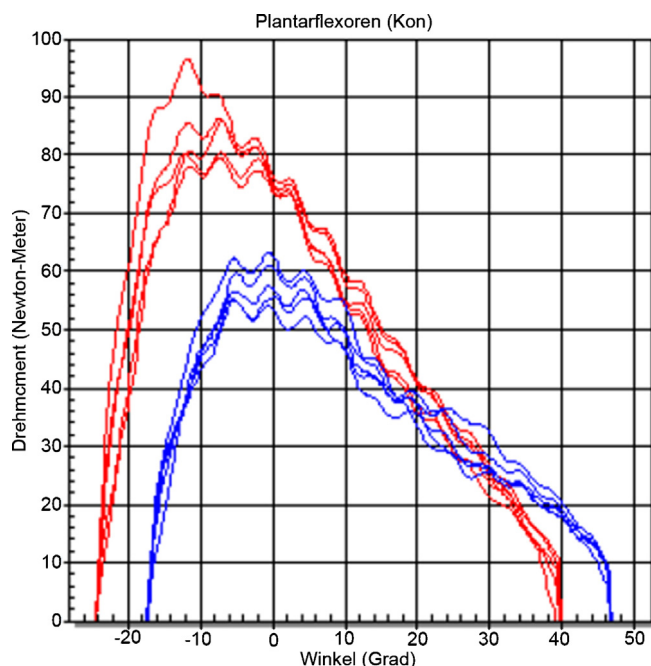


Abbildung 3

Kraftkurven der Plantarflexion (isokinetisch/ konzentrisch) (Nm): rot=gesunde Seite, blau=verletzte Seite.

anhand der Pearson Korrelationsanalyse ( $\alpha < 0,05$ ) geprüft.

### Ergebnisse

In der Fußabdruckanalyse lag die relative Abstoßkraft auf der betroffenen Seite bei durchschnittlich

$0,96 \pm 0,06$  N/kg ( $\sigma$ ) resp.  $1,02 \pm 0,08$  N/kg ( $\sigma$ ). Das Kraftdefizit im Abstoß der betroffenen Seite lag bei den männlichen Probanden bei  $0,8 \pm 4,3\%$  bei den weiblichen bei durchschnittlich  $1,9 \pm 3,3\%$  unter dem Wert der nicht betroffenen Seite (Tabelle 1).

Das maximale Drehmoment der Plantarflexoren bei der isokinetischen Kraftmessung lag auf der betroffenen Seite bei den männlichen Probanden durchschnittlich bei  $92,1 \pm 26,6$  Nm, resp. bei  $65,3 \pm 26,8$  Nm bei den weiblichen Probanden. Das Defizit der Plantarflexoren lag auf der betroffenen Seite im Schnitt  $9,3\%$  resp. bei  $20,8\%$ . In der Dorsalextension betrug die Werte auf der betroffenen Seite bei den Männern  $38,3 \pm 9,2$  Nm bei den Frauen  $25,6 \pm 4,0$  Nm (Tabelle 2).

Die Strain Scores über der Mid-Portion der Achillessehne lagen im Mittel bei  $0,105 \pm 0,036$  mit einem Range von  $0,044$ - $0,179$ .

Die Pearson's Korrelationsanalyse zwischen der Sehnenelastizität resp. den Strain Scores über der betroffenen Stelle und den funktionellen Parametern ergab für den Gangparameter der relativen Abstoßkraft eine mittlere, nicht signifikante negative Korrelation mit  $r = -0,421$ , d.h. mit zunehmender Höhe des Strain-Wertes nimmt die Abstoßkraft ab. Hinsichtlich des Kraftdefizits im Abstoß auf der betroffenen Seite in der Ganganalyse zeigte sich eine geringere Korrelation zu den Strain-Werten mit  $r = 0,337$ . In der

Tabelle 1. Werte aus der Fußabdruckanalyse.

	MaxF2 (N) Tendinose (M±SD)	MaxF2 (N) gesund (M±SD)	MaxF2 (N/kg) (Körpergewicht normiert) Tendinose (M±SD)	MaxF2 (N/kg) (Körpergewicht normiert) Gesund (M±SD)	Defizit MaxF2 (%) (M±SD)
Männlich	789,8±121,1	797,6±125,2	0,96±0,06	0,97±0,04	0,8±4,3
Weiblich	651,7±46,4	664,1±40,4	1,02±0,08	1,04±0,10	1,9±3,3

Tabelle 2. Werte der isokinetischen Kraftmessung.

	Plantarflexion Tendinose (Nm) (M ±SD)	Plantarflexion gesund (Nm) (M ±SD)	Defizit Plantarflexion (%) (M ±SD)	Dorsalextension Tendinose (Nm) (M ±SD)	Dorsalextension gesund (Nm) (M ±SD)	Defizit Dorsalextension (%) (M ±SD)
Männlich	92,1 ±26,6	102,6±27,6	9,3±12,8	38,3±9,2	37,3±8,7	-4,0±18,9
Weiblich	65,3±26,8	82,7±25,8	20,8±19,7	25,6±6,2	27,7±4,0	7,4±18,4

## ORIGINALARBEIT

Sport Orthop. Traumatol. 29, 314–320 (2013)

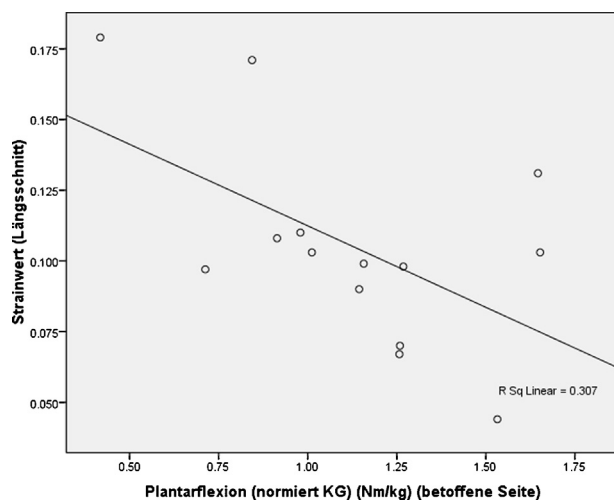


Abbildung 4  
Zusammenhang zwischen der Kraft (Isokinetik) der Plantarflexoren und des Strain Scores im Sehnenlängsschnitt.

isokinetischen Kraftmessung fielen die Zusammenhänge etwas deutlicher aus. Zwischen der Kraft der Plantarflexoren (absolut und normiert zum Körpergewicht) und der Höhe des Strain Scores zeigten sich jeweils mittlere Korrelationen mit  $r=-0,473$  (absolut) und  $r=-0,554^*$  (Abb. 4), mit zunehmender Höhe

der Strain Scores (pathologisch vermehrte Sehnenelastizität) nimmt die Kraft der Plantarflexoren ab. Eine höhere Korrelation ergab sich für das Kraftdefizit der Plantarflexoren der betroffenen Seite mit  $r=0,794^{**}$ , d.h. höhere Strain Scores gehen mit höheren Kraftdefiziten einher (Abb. 5).

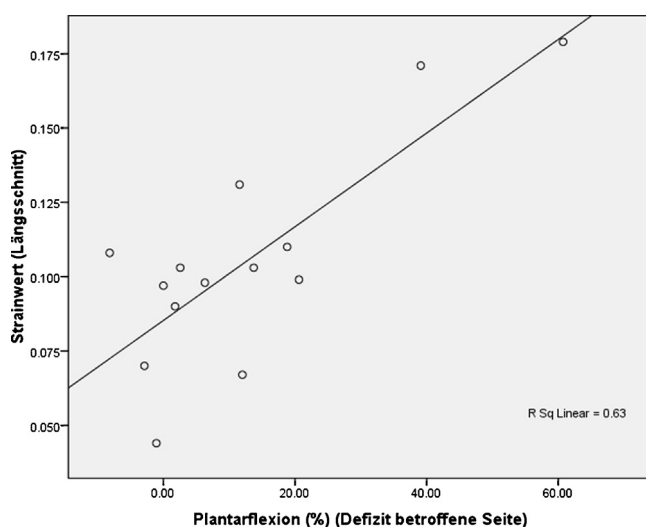


Abbildung 5  
Zusammenhang zwischen dem Kraftdefizit der betroffenen Seite (Isokinetik) in der Plantarflexion und des Strain Scores im Sehnenlängsschnitt

## Diskussion

Die Ergebnisse der Ganganalyse zeigten, dass die Abstoßkraft bei den tendinopathisch veränderten Achillessehnen mit 0,96 N/kg (männlich) resp. 1,02 N/kg (weiblich) nur leicht unter den Werten aus dem Normbereich lagen (Norm ca. 1-1,3 N/kg). Auffällig ist, dass auch die kontralateralen, nicht verletzten Seiten, Werte leicht unter dem Normbereich zeigten. Dies könnte dadurch begründet sein, dass sich die beiden Seiten im bipedalen Gang aneinander angleichen. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass die Achillessehnen-Tendinopathie noch keinen signifikanten Einfluss auf die Abstoßkraft im Gehen zu haben scheint. Dies traf sowohl für die einzelnen Kraftwerte als auch für das Defizit zur betroffenen Seite zu. Deutliche Funktionsverluste der Sehne scheinen somit erst mit einer zunehmenden Läsion der Sehne einherzugehen, wie dies bei (Teil-)Rupturen der Fall ist. Bei den isokinetischen Maximalkraftwerten zeigten sich dagegen bei den pathologisch veränderten Sehnen deutlich niedrigere Werte als dies für die Normwerte angenommen wird. So werden für sportliche Männer Werte in der Plantarflexion zwischen 100 Nm und 150 Nm als angemessen angesehen, für Frauen zwischen 80 Nm und 100 Nm [13]. In der vorliegenden Studienpopulation erreichten die Männer auf der verletzten Seite jedoch lediglich 92,1 Nm, die Frauen 65,3 Nm. Dies beeinflusste auch das Kraftdefizit zur nicht betroffenen Seite, die bei der isokinetischen Kraftmessung v.a. bei den Frauen mit durchschnittlich 20,8%, aber auch bei den Männern mit 9,3% deutlich höher ausfallen als bei der Ganganalyse. Für die Werte der Dorsalextension fallen die Ergebnisse nicht so eindeutig aus, da die hierfür eingesetzte Muskulatur keinen direkten Einfluss auf die

Funktion der Achillessehne hat. So lagen für beide Geschlechter die Kraftwerte im erwarteten Normbereich einer gesunden Population mit Werten von 38,3 Nm bei den Männern (Norm zwischen 35 Nm bis 40 Nm) und 25,6 Nm bei den Frauen (Norm zwischen 25 Nm und 35 Nm). Die Strain Scores der Achillessehnen-Tendinopathien zeigen dagegen pathologische Werte im Mittel von  $0,105 \pm 0,036$  mit einem Range von  $0,044$ – $0,179$ . Werden dabei die Min- und Max-Werte betrachtet, zeigen sich vereinzelt auch bei den symptomatischen Sehnen normale Strain-Werte. Es sei hier nochmals auf die Normwerte aus früheren Studien hingewiesen, die für symptomatische Achillessehnen Strain-Werte von  $0,108 \pm 0,026$  und für gesunde Achillessehnen Normwerte von  $0,061 \pm 0,024$  zeigten [14]. Hinsichtlich der Korrelation zwischen der Sehnenqualität (Strain Score) und den biomechanischen Variablen zeigten sich für die Ganganalyse nur geringe, für die isokinetischen Kraftwerte dagegen mittlere und zum Teil signifikante Korrelationen. Unter Betrachtung der biomechanischen Teilergebnisse erstaunt dieses Resultat nicht. Die eindeutigsten Korrelationen zeigten sich zwischen der isokinetischen Kraftmessung und der Sehnenqualität insbesondere für das Kraftdefizit. Hier ergab sich, dass mit zunehmender Höhe der Strain Scores (erhöhte Elastizität) die Kraftwerte geringer respektive das Defizit zur nicht betroffenen Seite größer werden. Wie einleitend erwähnt, beziehen sich bisherige Studien, die sich mit sonografischen und biomechanischen Eigenschaften von Achillessehnen beschäftigen, derzeit lediglich auf die Diagnose und Therapieerfolg nach schweren Achillessehnen-Verletzungen, vornehmlich Rupturen, die einen Vergleich mit unseren Ergebnissen erschweren.

Die Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen elastosonografischen und biomechanischen Messwerten sind nicht eindeutig. Dies ist wohl einerseits auf die geringe Stichprobengröße zurückzuführen, andererseits untersuchen die beiden Verfahren unterschiedliche Qualitäten und sind dementsprechend auch durch Besonderheiten gekennzeichnet: Die biomechanischen Messdaten sind zwar untersucherunabhängig, können jedoch durch die individuell unterschiedliche Schmerzempfindung der Patienten beim Test beeinflusst sein. Im Unterschied hierzu ist die Durchführung einer elastosonografischen Untersuchung schmerzfrei, jedoch sind die Ergebnisse jeglicher sonografischer Untersuchungen zumindest teilweise vom Untersucher abhängig [7]. Dennoch geben beide Messverfahren sinnvolle Hinweise, um eine Achillessehnenverletzung zu beschreiben und/oder zu charakterisieren.

### Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass für eine zuverlässige Beurteilung einer Sehnenverletzung, abgesehen von Anamnese und klinischem Befund die elastosonografische Untersuchung sowie die Funktionsprüfung durch biomechanische Messmethoden sinnvolle Untersuchungsmethoden in der Gesamtbeurteilung einer Achillessehnenpathologie sind. Der Einsatz möglichst umfassender Diagnostik, gegebenenfalls auch unter Einschluss weiterer aufwändiger Untersuchungen wie MRI etc. macht es möglich, verschiedene Therapieoptionen differenziert und ursachenorientiert einzusetzen.

### Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

### Literatur

- [1] K. Arda, N. Ciledag, E. Aktas, B.K. Aribas, K. Kose, Quantitative assessment of normal soft-tissue elasticity using shear-wave ultrasound elastography, *AJR Am J Roentgenol* 197 (2011) 532–536.
- [2] S. Aubry, J.R. Risson, B. Barbier-Brion, L. Tatu, C. Vidal, B. Kastler, Transient elastography of calcaneal tendon: preliminary results and future prospects, *J Radiol* 92 (2011) 421–427.
- [3] A.P. Chan, Y.Y. Chan, D.T. Fong, P.Y. Wong, H.Y. Lam, C.K. Lo, P.S. Yung, K. Y. Fung, K.M. Chan, Clinical and biomechanical outcome of minimal invasive and open repair of the Achilles tendon, *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 3 (2011) 32.
- [4] T. De Zordo, R. Chhem, V. Smekal, G. Feuchtner, M. Reindl, C. Fink, R. Fashingbauer, W. Jaschke, A.S. Klauser, Real-time sonoelastography: findings in patients with symptomatic achilles tendons and comparison to healthy volunteers, *Ultraschall Med* 31 (2010) 394–400.
- [5] T. De Zordo, C. Fink, G.M. Feuchtner, V. Smekal, M. Reindl, A.S. Klauser, Real-time sonoelastography findings in healthy Achilles tendons, *AJR Am J Roentgenol* 193 (2009) W134–W138.
- [6] E.E. Drakonaki, G.M. Allen, D.J. Wilson, Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description, *Clin Radiol* 64 (2009) 1196–1202.
- [7] E.E. Drakonaki, G.M. Allen, D.J. Wilson, Ultrasound elastography for musculoskeletal applications, *Br J Radiol* 85 (2012) 1435–1445.
- [8] K. Knobloch, H. Thermann, T. Hufner, Achilles tendon rupture—early functional and surgical options with special emphasis on rehabilitation issues, *Sportverletz Sportschaden* 21 (2007) 34–40.
- [9] N.N. Mahieu, E. Witvrouw, V. Stevens, D. Van Tiggelen, P. Roget, Intrinsic risk factors for the development of achilles tendon overuse injury: a prospective study, *Am J Sports Med* 34 (2006) 226–235.
- [10] J.L. Mccrory, D.F. Martin, R.B. Lowery, D.W. Cannon, W.W. Curl, H.M. Read Jr., D.M. Hunter, T. Craven, S.P. Messier, Etiologic factors associated with Achilles tendinitis in runners, *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 1374–1381.
- [11] F. Neumayer, E. Mouhsine, Y. Arlettaz, G. Gremion, M. Wettstein, X. Crevoisier,

## ORIGINALARBEIT

Sport Orthop. Traumatol. 29, 314–320 (2013)

- A new conservative-dynamic treatment for the acute ruptured Achilles tendon, Arch Orthop Trauma Surg 130 (2010) 363–368.
- [12] A. Pajala, J. Kangas, P. Siira, P. Ohtonen, J. Leppilahti, Augmented compared with nonaugmented surgical repair of a fresh total Achilles tendon rupture. A prospective randomized study, J Bone Joint Surg Am 91 (2009) 1092–1100.
- [13] D.H. Perrin, Isokinetic exercise and assessment, Human Kinetics Publishers, 1993.
- [14] H.-J. Rist, M. Mauch, Quantified evaluation of the Achilles tendon quality of athletes using TDI-elastosonography, SportOrthoTrauma 27 (2011) 283–291.
- [15] H.-J. Rist, M. Mauch, Quantified TDI Elastography of the Patellar Tendon in Athletes, Sportverletz Sportschaden 26 (2012) 27–32.
- [16] Y. Tegner, J. Lysholm, Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries, Clin Orthop Relat Res (1985) 43–49, DOI:.

**Korrespondenzadresse:**

Dr. Marlene Mauch  
Praxisklinik Rennbahn AG  
Biomechanics and Performance Lab  
St. Jakobs-Strasse 106  
CH-4132 Muttenz-Basel  
Switzerland  
Tel.: +41614656464.  
E-Mail: [marlene.mauch@rennbahnklinik.ch](mailto:marlene.mauch@rennbahnklinik.ch)

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

**ScienceDirect**