

Hans-Joachim Rist und Marlene Mauch

Praxisklinik Rennbahn, Muttenz

TDI-Elastosonografie zur quantitativen Beurteilung von Tendinopathien in der Sportmedizin

Zusammenfassung

Die TDI-Elastosonografie ist ein diagnostisches Verfahren zur quantitativen Beurteilung von geweblichen Veränderungen sowie der Sehnenqualität anhand von sogenannten Strain-Scores. In der vorliegenden Studie wurden Unterschiede zwischen den Strains von Achilles- (AS) und Patellarsehnen (PS) in gesunden, aber auch symptomatischen Sehnen untersucht. Zusätzlich wurde der Einfluss von Alter, Geschlecht und dem Sportimpact auf die quantitative Sehnenqualität beurteilt. Hierzu wurden AS (n=106) und PS (n=89) sonografisch untersucht. Es zeigte sich ein deutlicher Unterschied in den Strain-Werten zwischen gesunden (0.060–0.077) und symptomatischen (0.112–0.143) Sehnen. Dagegen zeigte sich kein Unterschied zwischen AS (0.060–0.072) und PS (0.060–0.077). Tendenziell zeigten ältere Sportler niedrigere Strain-Werte und damit ein härteres Sehngewebe (0.053–0.067) als jüngere Sportler (0.071–0.075); ein höherer Sportimpact führte zu höheren Strain-Werten (0.068–0.085) als ein niedrigerer Impact (0.055–0.067). Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts konnten keine nachgewiesen werden. Die Quantifizierung der Elastizität mittels TDI-Elastosonografie stellt ein geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Sehnenqualität dar. Sie liefert damit einen zusätzlichen Informationsgehalt zur B-Mode und Powerdoppler-Sonografie und könnte in bestimmten Fällen eine MRT-Untersuchung ersparen.

Summary

The TDI elastosonography is a diagnostic method for the quantitative assessment of tissue changes and tendon quality on the basis of so-called strain scores. In the present study, differences between the strains of Achilles (AT) and patellar tendons (PT) in healthy but also symptomatic athletes were investigated. In addition, the influence of age, sex and sports impact on the quantitative quality of the tendons was evaluated. Therefore, AT (n=106) and PT (n=89) were examined using sonography. There was a significant difference in the strain values between healthy (0.060–0.077) and symptomatic tendons (0.112–0.143). In contrast, there was no difference in AT (0.060–0.072) and PT (0.060–0.077). Older athletes tended to have lower strain values that mean harder tendon tissue (0.053–0.067) than younger athletes (0.071–0.075); a higher sports impact led to higher strain values (0.068–0.085) as a lower impact (0.055–0.067). Sex differences were not present. The quantification of elasticity using TDI elastosonography is a suitable method for assessing the quality of tendons. It provides additional information to the B-mode and Powerdoppler sonography and could save a MRI examination in specific cases.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 60 (3), 106–111, 2012

Einleitung

Tendinopathien sind ein häufiges Problem in der Sportmedizin, insbesondere bei Sportlern mit einem hohen Anteil an Stop-and-Go-Bewegungen und Sprungbelastungen. Über die Entstehung und Natur der zugrunde liegenden Pathologie besteht noch keine Klarheit. Nach derzeitiger Auffassung scheint ein Kontinuum von Physiologie zu Pathologie vorzuliegen (Abate et al., 2009; Cook & Purdam, 2009). Der mechanische Auslöser ist eine Überbelastung mit Mikrorupturen und Hypoxie. In der Folge kommt es gleichzeitig zur Expression von heilungsfördernden Molekülen, aber auch von proinflammatorischen Cytokinen, Prostaglandinen und Neuropeptiden (Fredberg & Stengaard-Pedersen, 2008; Millar et al., 2010).

Die fortgeschrittene Tendinopathie selbst zeigt histologisch ein verschieden ausgeprägtes Nebeneinander von hypoxisch mucoid-degenerativen und reparativen Vorgängen mit Neuroproliferationen in Begleitung von Neovaskularisationen (Abate et al., 2009). Mit bildgebenden Verfahren wird versucht, diese Stoffwechsel- und Gewebeveränderungen zu visualisieren. Hierbei geht das moderne Verfahren der Elastosonografie (ES) und neuerdings ganz besonders die Technik der Gewebedoppler-ES einen bedeutenden Schritt in diese Richtung, da sie die geweblichen Veränderungen zu quantifizieren vermag.

ES als diagnostisches Verfahren zur Beurteilung der Qualität von Sehnen hat ihre Bedeutung durch diverse Studien gezeigt: Enthesiopathien der Unterarmextensoren (de Zordo et al., 2009), Härte der Ellenbogenflexorenmuskulatur (Niitsu et al., 2011) und Achillessehnentendinopathien (de Zordo et al., 2009, 2010; Drakonaki et al., 2009; Klauser et al., 2010; Sconfienza et al., 2010). Diese Arbeiten basieren hierbei auf qualitativen Verfahren, welche technisch bedingt lediglich eine farblich abgestufte (blau/grün = hart bis gelb/rot = weich), optische Darstellung ohne mess- und vergleichbare Zahlen zulassen. Mit dem klinischen Befund als Referenz zur ES konnte hierbei de Zordo et al. (2010) eine sehr gute Sensitivität (94%), Spezifität (99%) und Genauigkeit (97%) bei der Untersuchung von Achillessehnen nachweisen. Die Korrelation zur konventionellen Ultraschalluntersuchung war mit 0.89 sehr gut. Hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Präzision konnten mittlere bis gute Korrelationskoeffizienten (0.41–0.78) gezeigt werden, dies insbesondere bei Longitudinalschnitten über der Achillessehne bei Bestimmung der Strain Ratio zwischen Sehne und Kager'schem Fettgeweberaum (Drakonaki et al., 2009). Die mit dieser Technik durchgeführten Studien weisen darauf hin, dass Tendinopathien der Achillessehne weicher sind, somit in der ES ein elastischeres Muster aufweisen. Durch eine neue Technik (TDI-ES) ist es nun möglich, durch die Bestimmung der sogenannten Strain-Scores

die Alterationen von Sehnen quantitativ-numerisch zu erfassen. Da es sich hierbei um ein relativ neues Verfahren handelt, ist die Datenlage über die Grössenordnung normaler Strain-Scores noch unzureichend. Lediglich zwei Studien beziehen sich auf quantitative Strain-Werte gesunder und symptomatischer Achilles- und Patellarsehnen von Sportlern (Rist & Mauch, 2011, 2012).

Das Ziel vorliegender Studie war es herauszufinden, ob ein Unterschied zwischen den Strain-Scores von Achilles- und Patellarsehnen in gesunden, aber auch symptomatischen Sehnen besteht. Zusätzlich sollte der Einfluss von Alter, Geschlecht und dem Sportimpact auf die quantitative Sehnenqualität beurteilt werden. Für die Patellarsehnen wurde zusätzlich das Vorkommen von Hypervaskularisationen und insbesondere deren Einfluss auf die Strain-Werte evaluiert.

Material und Methoden

Versuchspersonen

Für die Studie wurden insgesamt 195 sowohl symptomatische als auch gesunde Achilles- (n=106) und Patellarsehnen (n=89) von Sportler/-innen mit einem Tegner Score ≥ 4 mithilfe der TDI-ES untersucht. Bei den symptomatischen Patienten wurde die betroffene Seite untersucht, bei den asymptomatischen Patienten wurde die Untersuchungsseite zufällig ausgewählt. Ausgeschlossen wurden Probanden mit Sehnenrupturen, Voroperationen und entzündlich rheumatischen Erkrankungen. Ein Überblick über die Stichprobencharakteristik gibt *Tabelle 1*.

Geräte und Apparaturen

Die Sonografien wurden mit dem Aplio MX (Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japan) mit einer 4 cm langen, hochauflösenden 18 MHz Linear-Sonde durchgeführt. Die Sonde wurde dabei auf ein 1 cm dickes Gel-Pad appliziert.

Versuchsplan

Nach Erhebung der Anamnese und klinischen Untersuchung der Sportler erfolgten die sonografischen Untersuchungen. Dabei wurde zunächst eine konventionelle B-Mode, dann eine Dynaflo-Powerdoppler sowie anschliessend die TDI-ES angewendet. Alle Sehnen wurden sowohl im Längsschnitt als auch im Querschnitt dargestellt. 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 Tuber calcanei am rechten Bildrand abgebildet wurde (*Abb. 1*). Bei den symptomatischen Achillessehnen wurde die gleiche Sonden-Positionierung gewählt, dazu erfolgte jedoch eine zusätzliche Schnittführung über der Stelle der grössten Schwellung/Druckdolenz (*Abb. 1*).

Die Sonografie der Patellarsehne erfolgte in Rückenlage des Patienten mit einer im Durchmesser 15 cm dicken Schaumstoffrolle unter dem Kniegelenk. Diese Lage führt zu einer entspannten Oberschenkelmuskulatur und einer leicht vorgespannten Patellarsehne. Die Untersuchung wurde über die gesamte Sehnenlänge durchgeführt sowie auch hier bei den symptomatischen Sehnen über der Stelle der grössten Schwellung und des stärksten Schmerzpunktes (*Abb. 2 und 3*).

	Geschlecht		Alter (Jahre)	
	männlich	weiblich	Mittelwert \pm SD	Min, Max
Achillessehne (n=106)	n=70 (66%)	n=36 (34%)	38.2 \pm 12.6	16–60
Patellarsehne (n=89)	n=67 (75%)	n=22 (25%)	31.8 \pm 12.2	16–60

Tabelle 1: Stichprobencharakteristik

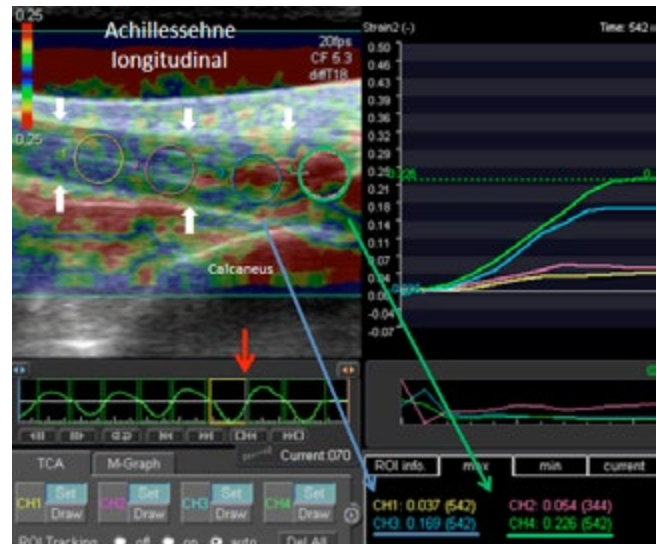


Abbildung 1: TDI-Elastogramm einer distalen Achillessehnentendinose (Longitudinalschnitt, weisse Pfeile). Der rote Pfeil markiert dies Messstelle in der Dekompressionsphase. Blaue und grüne Markierungen zeigen ROI mit pathologischen Strainwerten.

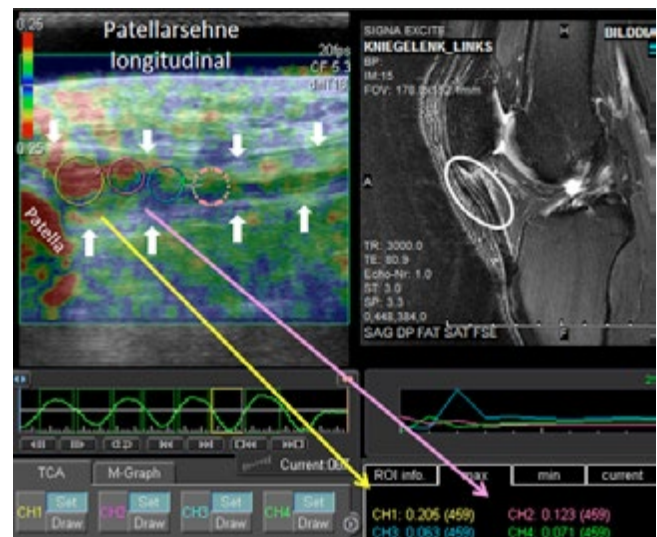


Abbildung 2: TDI-Elastosonogramm eines Jumper's knee. Verdickte Sehnenkontur zwischen den weissen Pfeilen. Proximal-ventral am Ursprung des Lig. patellae gelb und violett markierte ROI mit pathologischen Strainscores. Im Bild rechts zum Vergleich der entsprechende MRI-Schnitt (weisses Oval).

Im Längsschnitt wurde versucht vier Regions of Interest (ROI) und im Querschnitt jeweils drei ROI auszuwählen. Diese werden im Folgenden durch L1–L4 (Längsschnitt von proximal nach distal) und Q1–Q3 (Querschnitt von medial nach lateral) benannt. Um eine möglichst hohe Reliabilität der Messergebnisse zu erreichen, wurden alle Sonografien von demselben Untersucher durchgeführt, der sich auf eine 20-jährige Ultraschallerfahrung am Muskel- und Skelettsystem stützen kann.

Datenauswertung und statistische Methoden

Alle relevanten Bildbefunde sowie Ergebnisse der Untersuchung wurden elektronisch abgespeichert und in einer Datenbank verwaltet. Um Unterschiede hinsichtlich des Alters identifizieren zu können, wurde die gesamte Stichprobe in zwei Altersgruppen unterteilt: (i) < 40 Jahre, (ii) ≥ 40 Jahre. Hinsichtlich des Trainingsniveaus (Impact) wurde ebenfalls eine zweigliedrige Einteilung auf der Grundlage des Tegner-Scores vorgenommen; in eine Gruppe

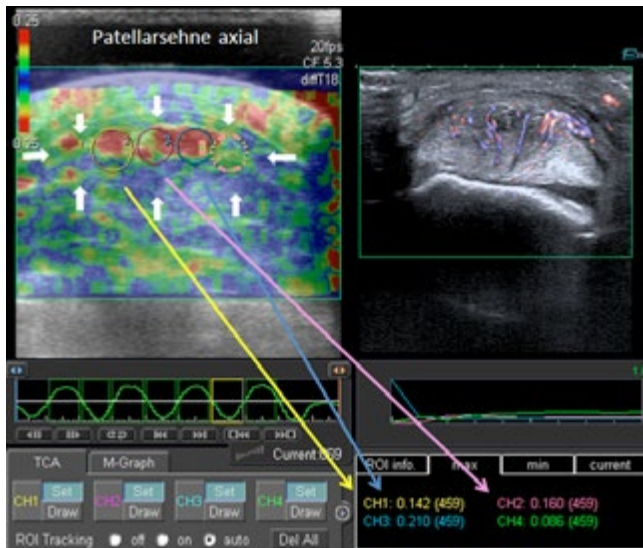


Abbildung 3: TDI-Elastosonogramm eines Jumper's knee axial mit pathologischen Strainscores. Im Bild rechts zum Vergleich Darstellung der Neovascularisationen im Powerdoppler.

von Sportlern mit höherem Impact (Tegner-Score 7–10) und eine Gruppe mit niedrigerem Impact (Tegner-Score 4–6). Unterschiede zwischen den Strain-Werten (abhängige Variable) und verschiedenen Faktoren (Art der Sehne, Alter, Geschlecht, Trainingsniveau) wurde mithilfe einer ANOVA ($\alpha < 0.05$) geprüft. Die Resultate werden als Mittelwert \pm Standardabweichung präsentiert.

Resultate

Die Strain-Scores der gesunden Achillessehnen lagen im Längsschnitt im Mittel zwischen 0.061 und 0.068 je nach ROI. Im Querschnitt zeigten sich ähnliche Werte mit Mittelwerten von 0.065 bis 0.072. Für die symptomatischen Achillessehnen ergaben sich im Längsschnitt Werte zwischen 0.112 und 0.125, im Querschnitt zwischen 0.117 und 0.143 (Tab. 2). Hinsichtlich der Strain-Scores unterschieden sich die gesunden Achillessehnen signifikant von den symptomatischen (Abb. 4 oben).

Bei den gesunden Patellarsehnen lagen die Strain-Scores im Längsschnitt durchschnittlich bei 0.071 bis 0.077 und im Querschnitt bei 0.060 bis 0.072. Die symptomatischen Patellarsehnen wiesen im Längsschnitt im Mittel Strain-Werte von 0.118 bis 0.129, im Querschnitt von 0.119 bis 0.142 auf (Tab. 2). Für die sympto-

matischen Patellarsehnen zeigten sich ebenfalls signifikant höhere Werte im Vergleich zu den gesunden Sehnen (Abb. 4 unten).

Der Vergleich der Strain-Werte von Patellar- und Achillessehnen ergab in der statistischen Analyse weder für die Strain-Werte der symptomatischen Sehnen noch für die der gesunden Sehnen einen signifikanten Unterschied zwischen Patellar- und Achillessehnen. Aufgrund der vergleichbaren Strain-Werte beider Sehnen wurden die Unterschiede zwischen den Strains in den einzelnen ROIs hinsichtlich Alter, Geschlecht und Trainingsniveau der Sportler für beide Sehnen gemeinsam betrachtet.

Hinsichtlich des Alters unterscheiden sich bei gesunden Patellar- und Achillessehnen die Strain-Werte zwischen jüngeren und älteren Sportlern: so liegen die Werte bei den jüngeren (< 40 Jahre) im Längsschnitt durchschnittlich bei 0.071 bis 0.075 je nach ROI, bei den älteren (≥ 40 Jahre) dagegen bei 0.053 bis 0.067. Statistisch signifikant sind die Unterschiede jedoch lediglich für die proximalen Anteile L1 und L2.

Strain-Werte von Männern und Frauen unterschieden sich weder bei den gesunden noch bei den symptomatischen Sehnen: Männer mit gesunden Sehnen zeigten Strain-Werte im Längsschnitt zwischen 0.069 und 0.073, Frauen zwischen 0.058 und 0.073.

Demgegenüber hatte das Trainingsniveau (Impact) einen Einfluss auf die Höhe der Strain-Werte (Abb. 5): So zeigten gesunde Sportlersehnen, die einem höheren Impact ausgesetzt waren, Werte zwischen 0.068 und 0.086, symptomatische Sehnen Werte zwischen 0.110 und 0.147. Sportlersehnen dagegen, die durch einen niedrigeren Impact weniger belastet werden, zeigten bei gesunden Sehnen Werte zwischen 0.055 und 0.067, bei symptomatischen Sehnen Werte zwischen 0.116 und 0.139. Signifikante Unterschiede ergaben sich jedoch lediglich für die gesunden, nicht aber für die symptomatischen Sehnen.

Von den 50 symptomatischen Patellarsehnen zeigten 31 (62%) Hypervaskularisationen, 19 (38%) dagegen keine Hypervaskularisationen im Powerdoppler. Symptomatische Sehnen mit Hypervaskularisationen zeigten im Längsschnitt durchschnittlich Strain-Scores zwischen 0.118 und 0.131, Sehnen ohne Hypervaskularisationen ähnliche Mittelwerte zwischen 0.118 und 0.128 (Abb. 6).

Diskussion

Die Ergebnisse zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Strain-Werten gesunder und symptomatischer Patellar- und Achillessehnen, dagegen keine Unterschiede zwischen den beiden Sehnen: sowohl Patellar- als auch Achillessehnen zeigten unabhängig davon, ob symptomatisch oder nicht, vergleichbare Strain-Werte.

Achillessehne (n=106)							
	ROI (Längsschnitt)				ROI (Querschnitt)		
	L1	L2	L3	L4	Q1	Q2	Q3
gesund (n=50) M \pm SD	0.061 ± 0.024	0.065 ± 0.027	0.068 ± 0.028	0.068 ± 0.027	0.065 ± 0.034	0.072 ± 0.035	0.060 ± 0.029
symptomatisch (n=56) M \pm SD	0.112 ± 0.030	0.118 ± 0.031	0.115 ± 0.032	0.125 ± 0.037	0.143 ± 0.160	0.117 ± 0.034	0.118 ± 0.054
Patellarsehne (n=89)							
	ROI (Längsschnitt)				ROI (Querschnitt)		
	L1	L2	L3	L4	Q1	Q2	Q3
gesund (n=39) M \pm SD	0.071 ± 0.039	0.073 ± 0.024	0.076 ± 0.023	0.077 ± 0.024	0.060 ± 0.025	0.072 ± 0.027	0.061 ± 0.024
symptomatisch (n=50) M \pm SD	0.129 ± 0.040	0.123 ± 0.027	0.118 ± 0.025	0.124 ± 0.034	0.119 ± 0.028	0.142 ± 0.041	0.133 ± 0.035

Tabelle 2: Strain-Werte in verschiedenen Regions of Interest (ROI) im Längs- und Querschnitt bei gesunden und symptomatischen Achillessehnen (oben) und Patellarsehnen (unten)

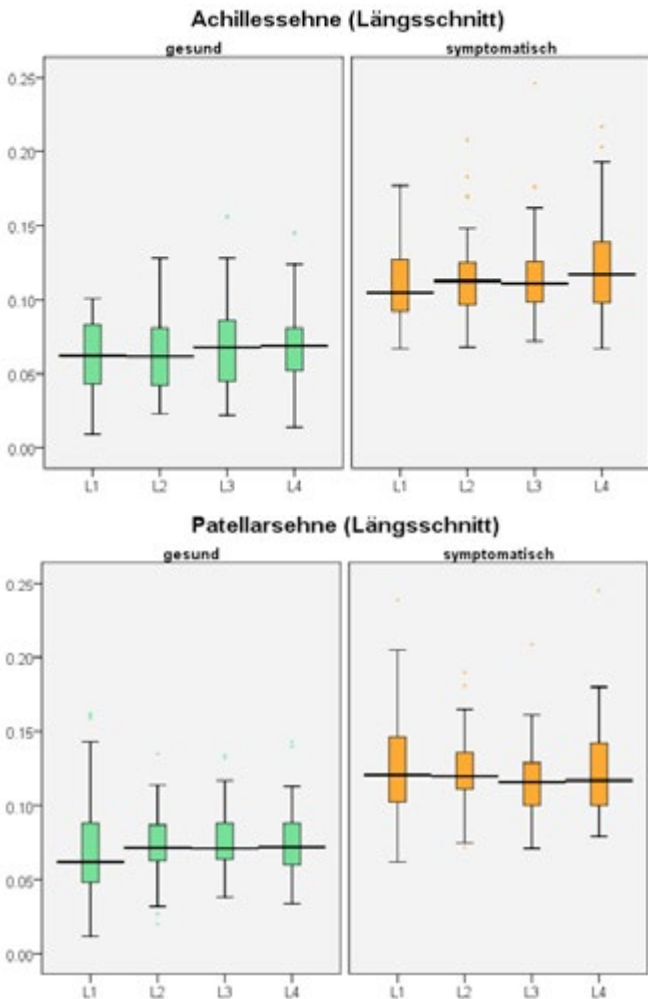


Abbildung 4: Box-Plots gesunder und symptomatischer Achilles- und Patellarsehnen im Längsschnitt. Dargestellt sind jeweils die Regions of Interest (ROIs) L1 bis L4 mit jeweils signifikanten Unterschieden in den Strain-Scores zwischen gesunden und symptomatischen Sehnen (ANOVA, $p < 0.05$).

Dieses Ergebnis erstaunt initial, da vermutet werden könnte, dass durch die unterschiedliche Anatomie und funktionelle Belastung der Patellar- und Achillessehne auch die sonoelastisch messbaren Werte der Sehnenqualität beeinflusst werden. So zeichnet sich die Achillessehne durch einen torquierten Verlauf aus (Doral et al., 2010; Segesser et al., 2006), die Patellarsehne dagegen durch einen parallelen Faserverlauf. Der torquierte Faserverlauf der Achillessehnenanatomie verursacht in der konventionellen B-Mode Sonografie das Problem der Anisotropie, also einem Artefakt, der Sehnenanteile echoarm und somit suspekt erscheinen lässt, weil die Schallwellen durch das Auftreffen auf schräge Sehnenanteile nicht vollständig in den Bereich der Sonde zurückreflektiert werden. Die nahezu gleichen Strain-Werte von Patellar- und Achillessehnen weisen unseres Erachtens darauf hin, dass die der TDI-ES zugrunde liegende Dopplertechnik das Problem der Anisotropie eliminiert.

Hinsichtlich des Alters zeigten ältere Sportler eher niedrigere Strain-Werte als jüngere Sportler. Dieses Ergebnis konnte aus der vorgängigen Studie an Achillessehnen auch anhand einer größeren Stichprobe bestätigt werden (Rist & Mauch, 2011). Somit scheinen jüngere Sportler erwartungsgemäss tendenziell eine elastischere Sehnenqualität aufzuweisen, was durch die mit dem Alter einhergehende reduzierte Bindegewebselastizität erklärbar ist (Bailey, 2001).

Es wird allgemein angenommen, dass Männer und Frauen unterschiedliche viskoelastische und mechanische Eigenschaften in der Sehnenstruktur aufweisen (Kubo et al., 2003; Onambele et al., 2007), was unter anderem mit unterschiedlichen Verletzungsmus-

tern in Zusammenhang gebracht wird. Der Verdacht, dass diese unterschiedlichen Sehneigenschaften von Männern und Frauen damit einen Einfluss auf die quantitativen Strain-Werte haben, konnte in unserer Studie nicht bestätigt werden: die Strain-Werte von Männern und Frauen unterschieden sich nicht.

Dagegen ist sowohl in der vorliegenden, als auch in einer vorgängigen Studie (Rist & Mauch, 2011) festzustellen, dass der Sportimpact einen Einfluss auf die Höhe der Strain-Werte hat: ein höherer Impact führt zu höheren Strain-Werten. Es ist zu vermuten, dass die höheren Strain-Scores bei höherem Trainingsniveau Ausdruck eines belastungsinduzierten Anpassungs-Kollagenshifts von Typ 1 zu Typ 3 sind (Doral et al., 2010). Gleichzeitig fanden Hirschmüller et al. (2010) bei 35% der asymptomatischen wettkampforientierten Langstreckenläufer, d.h. mit hohem Impact, im Powerdoppler Hypervaskularisationen mit nur fraglich pathologischer Bedeutung. In einer prospektiven Studie über ein Jahr an 634 asymptomatischen Läufern findet sie jedoch eine prädiktive Voraussage der Hypervaskularisationen (Odds Ratio = 6.9) für die Manifestation einer Tendinose (Hirschmüller et al., 2012). Diese Ergebnisse legen für uns den Zusammenhang nahe, dass ein erhöhter Impact zu einer Veränderung oder Anpassung der Sehnenstruktur und damit möglicherweise eine Relation zwischen Hypervaskularisationen und der Strain-Werte bestehe. Erstaunlicherweise konnte jedoch

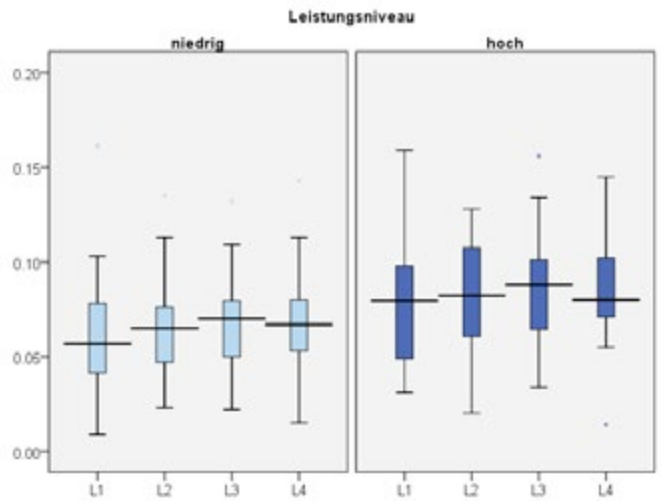


Abbildung 5: Strain-Scores gesunder Achilles- und Patellarsehnen differenziert nach Leistungsniveau (links: niedrig; rechts hoch). Es zeigen sich signifikante Unterschiede in den Strain-Scores hinsichtlich des Leistungsniveaus (ANOVA, $p < 0.05$).

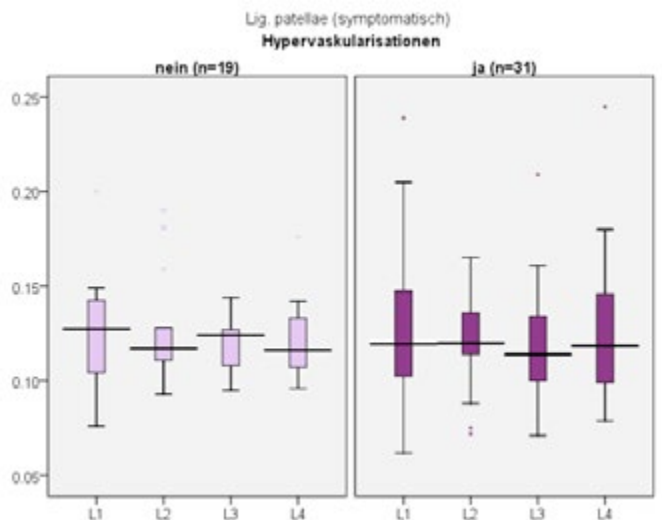


Abbildung 6: Strain-Scores symptomatischer Patellarsehnen ohne (links) und mit (rechts) Hypervaskularisationen. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in den Strain-Scores hinsichtlich der Hypervaskularisationen (ANOVA, $p > 0.05$).

kein Zusammenhang zwischen der Höhe der Strain-Werte und dem Auftreten von Hypervaskularisationen unsererseits nachgewiesen werden. Die pathologische Elastizität, quantifiziert anhand der Strain-Werte, scheint also nicht Folge der Hypervaskularisationen zu sein. Hier sind weitere Studien notwendig, um diesem Phänomen genauer auf den Grund zu gehen.

Schlussfolgerung

Die Quantifizierung der Elastizität mittels TDI-ES ist in der Hand des geübten Untersuchers ein geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Qualität von Achilles- und Patellarsehnen. Das vergleichsweise preisgünstige Verfahren lieferte zusätzliche Informationen zur B-Mode und Powerdoppler-Sonografie. Insbesondere hilft es, die häufig in der B-Mode Untersuchung der Achillessehne durch deren torquierten Verlauf entstehenden Artefakte zu eliminieren.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Hans-Joachim Rist, Praxisklinik Rennbahn, St. Jakobs-Strasse 106, 4132 Muttenz, Tel. +41 61 465 64 64, Fax +41 61 465 64 69, achim.rist@rennbahnklinik.ch

Literaturverzeichnis

Abate M., Silbernagel K.G., Siljeholm C., di Iorio A., de Amicis D., Salini V., Werner S., Paganelli R. (2009): Pathogenesis of tendinopathies: inflammation or degeneration? *Arthritis Res. Ther.* 11: 235.

Bailey A.J. (2001): Molecular mechanisms of ageing in connective tissues. *Mech. Ageing Dev.* 122: 735–755.

Cook J.L., Purdam C.R. (2009): Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *Br. J. Sports Med.* 43: 409–416.

de Zordo T., Chhem R., Smekal V., Feuchtner G., Reindl M., Fink C., Faschingbauer R., Jaschke W., Klauser A.S. (2010): Real-time sonoelastography: findings in patients with symptomatic achilles tendons and comparison to healthy volunteers. *Ultraschall Med.* 31: 394–400.

de Zordo T., Fink C., Feuchtner G.M., Smekal V., Reindl M., Klauser A.S. (2009): Real-time sonoelastography findings in healthy Achilles tendons. *Am. J. Roentgenol.* 193: 134–138.

de Zordo T., Lill S.R., Fink C., Feuchtner G.M., Jaschke W., Bellmann-Weiler R., Klauser A.S. (2009): Real-time sonoelastography of lateral epicondylitis: comparison of findings between patients and healthy volunteers. *Am. J. Roentgenol.* 193: 180–185.

Doral M.N., Alam M., Bozkurt M., Turhan E., Atay O.A., Donmez G., Maffulli N. (2010): Functional anatomy of the Achilles tendon. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 18: 638–643.

Drakonaki E.E., Allen G.M., Wilson D.J. (2009): Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. *Clin. Radiol.* 64: 1196–1202.

Fredberg U., Stengaard-Pedersen K. (2008): Chronic tendinopathy tissue pathology, pain mechanisms, and etiology with a special focus on inflammation. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 18: 3–15.

Hirschmüller A., Frey V., Deibert P., Konstantinidis L., Mayer F., Südkamp N., Helwig P. (2010): Powerdopplersonografische Befunde der Achillessehnen von 953 Langstreckenläufern – eine Querschnittsstudie. *Ultraschall Med.* 31: 387–393.

Hirschmüller A., Frey V., Konstantinidis L., Baur H., Dickhuth H.H., Südkamp N.P., Helwig P. (2012): Prognostic value of Achilles tendon Doppler sonography in asymptomatic runners. *Med. Sci Sports Exerc.* 44: 199–205.

Klauser A.S., Faschingbauer R., Jaschke W.R. (2010): Is sonoelastography of value in assessing tendons? *Sem. Musculoskelet. Radiol.* 14: 323–333.

Kubo K., Kanehisa H., Fukunaga T. (2003): Gender differences in the viscoelastic properties of tendon structures. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88: 520–526.

Millar N.L., Hueber A.J., Reilly J.H., Xu Y., Fazzi U.G., Murrell

G.A., McInnes I.B. (2010): Inflammation is present in early human tendinopathy. *Am. J. Sports Med.* 38: 2085–2091.

Niitsu M., Michizaki A., Endo A., Takei H., Yanagisawa O. (2011): Muscle hardness measurement by using ultrasound elastography: a feasibility study. *Acta Radiol.* 52: 99–105.

Onambele G. N., Burgess K., Pearson S. J. (2007): Gender-specific in vivo measurement of the structural and mechanical properties of the human patellar tendon. *J. Orthop. Res.* 25: 1635–1642.

Rist H.-J., Mauch M. (2011): Quantifizierte Beurteilbarkeit der Achillessehnenqualität bei Sportlern durch TDI-Elastosonografie. *Sport Ortho. Trauma.* 27: 283–291.

Rist H.-J., Mauch M. (2012): Quantifizierte TDI-Elastosonografie der Patellarsehne bei Sportlern. *Sportverletz. Sportschaden* 26: 27–32.

Sconfienza L.M., Silvestri E., Cimmino M.A. (2010): Sonoelastography in the evaluation of painful Achilles tendon in amateur athletes. *Clin. Exp. Rheumatol.* 28: 373–378.

Segesser B., Brueggemann P., Weisskopf L. (2006): Die Achillessehne im Sport. *Therapiewoche* 7/8: 144–150.