

LEISTUNGS SPORT



SPORTWISSEN

IN THEORIE

UND PRAXIS



TALENTSCHMIEDE



VOLLER ENERGIE

WIE GESUNDE SEHNEN HÖCHSTLEISTUNGEN ERMÖGLICHEN

Autoren: Falk Mersmann, Sebastian Bohm, Adamantios Arampatzis

Keines unserer Biomaterialien ist so gut geeignet, ähnlich einer Feder, mechanische Energie zu absorbieren und wieder abzugeben. Obwohl Sehnen selbst keine Kräfte erzeugen können, haben sie damit auch einen wesentlichen Einfluss auf die Erzeugung von Kraft und mechanischer Energie durch den Muskel. Ihre Bedeutung für unsere Leistungsfähigkeit, aber auch die Verletzungsanfälligkeit, sind gute Gründe, der Anpassung von Sehnen an mechanische Belastung größere Beachtung zu schenken

Die Funktion von Sehnen und ihr Einfluss auf sportliche Leistungsfähigkeit

Unbestritten leisten unsere Muskeln den Antrieb für unsere Bewegungen. Sie wandeln chemische Energie, die wir über unsere Nahrung aufnehmen, in mechanische Energie um, erzeugen Kraft und verrichten mechanische Arbeit. Sehnen können selbst keine Kraft oder mechanische Energie erzeugen, sondern übertragen lediglich die vom Muskel erzeugten Kräfte auf das Skelett. Doch ihre Nachgiebigkeit und Elastizität verschaffen dem Muskel enorme Vorteile und beeinflussen damit die sportliche Leistungsfähigkeit entscheidend. Wie kein anderes Biomaterial unseres muskuloskelettalen Systems können Sehnen absorbierte Energie wieder freisetzen. So ist die erste Hälfte der Stützphase beim Steady-State-Laufen beispielsweise mit einer Bremswirkung verbunden. Ein wesentlicher Anteil der hierbei vom Körper absorbierten Energie wird von unseren Sehnen – ähnlich einer biologischen Feder – als Verformungsenergie gespeichert und im späteren Verlauf metabolisch „kostengünstig“ wieder in die Bewegung zurückgeführt.¹ Schätzungen zufolge könnten etwa 50 Prozent der in der zweiten Hälfte der Stützphase (Beschleunigungsphase) freigesetzten Energie als recycelte Energie bezeichnet werden.² Dabei scheinen Sehnen und ihre mechanischen Eigenschaften optimal auf die Kapazität der jeweiligen Muskeln abgestimmt zu sein und verschaffen den Motoren unserer Bewegungen günstige Arbeitsbedingungen.³ Die Fähigkeit eines Muskels, Kraft zu erzeugen, hängt von seiner momentanen Länge und der Geschwindigkeit ab, mit der er sich verkürzt (beziehungsweise seine Länge hält oder verlängert; Abb. 1). Aufgrund der Nachgiebigkeit und Elastizität der Sehne können die Knieextensoren in der Stützphase des Laufens beispielsweise nahe ihrer optimalen Länge und annähernd isometrisch arbeiten (hohes Kraft-Längen-Geschwindigkeits-Potenzial).⁴ Der Muskel zeigt also nicht, wie vormals angenommen, einen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, sondern hält – dank des hohen Kraftpotenzials bei isometrischen Kontraktionen – metabolisch gesehen besonders „kostengünstig“ seine Länge. Die Längenänderung der Muskel-Sehnen-Einheit während der Kniebeugung und -streckung wird von der Sehne übernommen. Die Muskelfasern der Plantarflexoren arbeiten sogar, trotz der Längenzu- und -abnahme der Muskel-Sehnen-Einheit, während der gesamten Stützphase verkürzend (Abb. 2).⁵ Das ist vorteilhaft, da diese Muskelgruppe im Wesentlichen dafür verantwortlich ist, die mechanische Energie zu erzeugen, die nicht recycelt werden kann und als Wärme „verloren“ geht. Die Achillessehne ermöglicht den Plantarflexoren dabei ebenfalls eine günstige Arbeitslänge sowie eine Verkürzungsgeschwindigkeit, die durch eine besonders hohe Effizienz bei der Umwandlung von chemischer in die nötige mechanische Energie gekennzeichnet ist. Da vermutlich etwa 75 Prozent der beim Laufen anfallenden metabolischen Gesamtkosten auf die Erzeugung mechanischer Arbeit durch die Muskulatur zurückzuführen sind, reduziert sich aufgrund der durch die Sehne verbesserten Arbeitsbedingungen der metabolische Energieverbrauch unserer Muskeln. So konnte in einer Interventionsstudie gezeigt werden, dass eine Zunahme der Effizienz des Schollenmuskels – durch gezieltes Muskel-Sehnen-Training der Plantarflexoren – zu einer signifikanten Verbesserung der Laufökonomie führt.⁶



Das hohe Aufkommen von Überlastungsbeschwerden der Sehne könnte bei einer Vielzahl von Sportlern in einer unzureichenden Anpassung der Sehne begründet liegen

Häufig ist die sportliche Leistungsfähigkeit jedoch nicht von der Ökonomie der Bewegung, sondern der maximalen mechanischen Leistung bestimmt, wenn es zum Beispiel um das Erreichen maximaler Geschwindigkeiten, Sprunghöhen oder Wurfweiten geht. Für höhere submaximale Laufgeschwindigkeiten und im Vollsprint wird beispielsweise die Lauftechnik und das Nerv-Muskel-Zusammenspiel modifiziert, sodass bei den Plantarflexoren der Beitrag der Sehne zur Längenänderung der Muskel-Sehnen-Einheit weiter zunimmt.⁷ Die Energie, welche die Sehne in der ersten Hälfte von Körper und dem sich verkürzenden Muskel absorbiert, erhöht sich und wird während der Abdruckphase katapultartig freigesetzt. Durch den Beitrag der Sehne erreicht die Muskel-Sehnen-Einheit damit eine Verkürzungsgeschwindigkeit und mechanische Leistung, die allein durch den Muskel nicht erreichbar wären. Zudem kann der Muskel so bereits in der Bremsphase mechanische Energie erzeugen, diese Energie in der Sehne speichern und über die gesamte Stützphase hinweg mit einer Verkürzungsgeschwindigkeit arbeiten, die optimal für die Entwicklung einer hohen mechanischen Leistung ist.

Die Nachgiebigkeit und Elastizität der Patellar-Quadrizeps-Sehne beeinflusst auch die Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskelfaser während eines maximalen vertikalen Sprungs (Countermovement Jump) und ermöglicht günstigere Kontraktionsbedingungen für den Muskel, um eine hohe mechanische Leistung zu erreichen.⁸ Die Sehne minimiert hierbei den Anteil der Energie, die vom Muskel während der Ausholbewegung absorbiert und zu einem hohen

Anteil in Wärme überführt wird, und ihre Energiefreisetzung in der Beschleunigungsphase kommt zusätzlich zu der Energie hinzu, die nun unter günstigeren Kontraktionsbedingungen durch den Muskel erzeugt wird. Die Muskel-Sehnen-Einheit verkürzt sich damit deutlich schneller als die Muskelfasern, und die erreichte mechanische Leistung kann somit größer werden als die, die ein Muskel allein erreichen kann. Dabei wird das Zusammenspiel von Muskel und Sehne besonders effektiv, wenn die Kraftfähigkeit des Muskels und die Widerstandsfähigkeit der Sehne (genannt Steifigkeit) in einem ausgewogenen Verhältnis stehen.⁹⁻¹¹

Die Bedeutung von Sehnen für die Gesundheit

Da Sehnen hohen Belastungen ausgesetzt sind, treten insbesondere bei Sporttreibenden häufig Verletzungen des Sehngewebes auf. Besonders anfällig für die sogenannte Tendinopathie – eine schmerzhafte Sehnerkrankung, die mit Funktionseinschränkungen, Schwellungen und einem Verlust der mechanischen Widerstandsfähigkeit des Gewebes verbunden ist – sind Athleten aus Sportarten, die durch ein hohes Aufkommen von Sprüngen und Richtungswechseln gekennzeichnet sind.¹² Tatsächlich zeigen Grundlagenstudien, dass derartige plyometrische Belastungen zwar die Kraftfähigkeit des Muskels steigern können, jedoch die notwendige Anpassung von Sehnen kaum oder gar nicht anregen.¹³ Folglich lassen sich auch in diesen Sportarten häufig Dysbalancen zwischen Muskelkraft und Sehnensteifigkeit beobachten, was zur Folge hat, dass bei maximaler Muskelanspannung die resultierende Dehnung der Sehne besonders hoch ausfällt. Die Häufigkeit solcher Dysbalancen scheint dabei vom

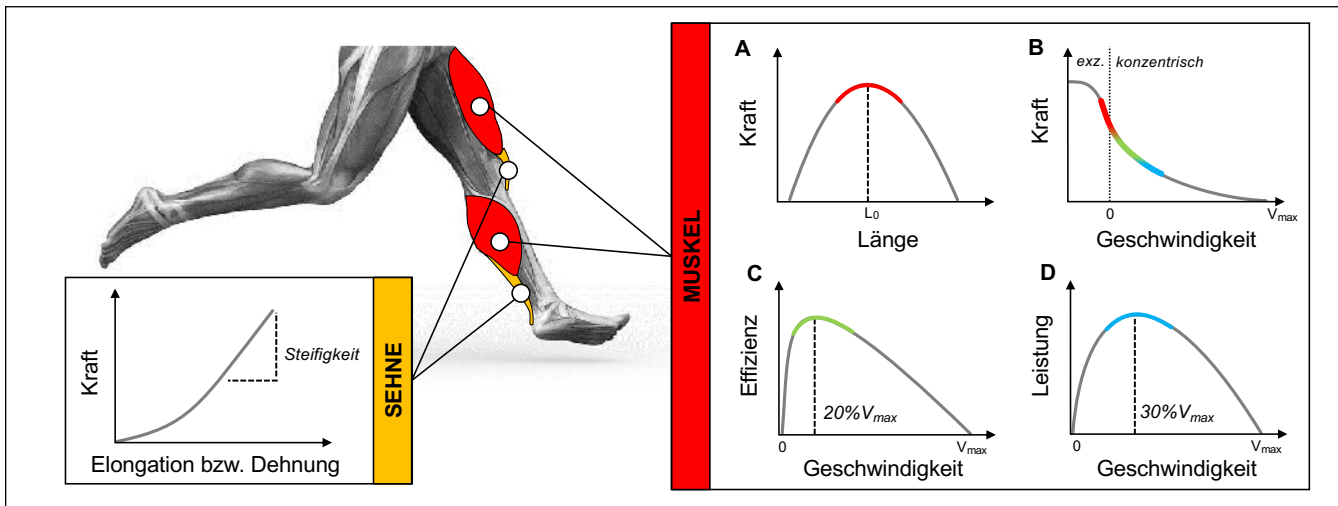


Abb. 1: Die Kraft, die ein Muskel erzeugen kann, ist von seiner momentanen Länge (A) und der Geschwindigkeit (B) abhängig. Ein hohes Kraftpotenzial erreicht der Muskel nahe seiner optimalen Länge (L_0) sowie bei isometrischen und exzentrischen Kontraktionen. Um mechanische Arbeit und Energie auf den Körper oder die Sehne übertragen zu können, muss sich der Muskel allerdings verkürzen. Dadurch reduziert sich zwar die erzeugbare Kraft, doch bis zu einem Wert von 20 Prozent der maximal möglichen (unbelasteten) Verkürzungsgeschwindigkeit (V_{max}) erhöht sich die Effizienz (C), also der Anteil chemischer Energie, der in mechanische umgewandelt wird. Bei 30 Prozent V_{max} ist die Effizienz bereits geringer, jedoch wird hier die größte mechanische Leistung (Arbeit pro Zeit) erzielt (D). Die Längenänderung des Muskels während einer Bewegung ist maßgeblich auch durch die Elongation (absolute Längenänderung) beziehungsweise Dehnung (Elongation normiert auf die Ruhelänge) der Sehne bestimmt. Die Steifigkeit der Sehne kennzeichnet die mechanische Widerstandsfähigkeit und wird daran gemessen, wie viel Kraft für eine bestimmte Längenänderung der Sehne notwendig ist (E)

Kindes- bis ins Erwachsenenalter zuzunehmen und betrifft gleichermaßen weibliche und männliche Athleten.¹⁴⁻¹⁶ Da die maximal tolerierbare Dehnung einer Sehne nicht verändert werden kann, impliziert die resultierende höhere Dehnung eine größere – potenziell riskante – mechanische Beanspruchung der Sehne. Kadaverstudien mit menschlichen Achillessehnen zeigen, dass sich mit einer Zunahme der Dehnung unter zyklischer Belastung die Anzahl der Zyklen bis zum Materialversagen reduziert.¹⁷ Studien zum Stoffwechsel von Sehnenzellen legen nahe, dass Belastungen mit moderat hohen Dehnungen von etwa sechs Prozent eine positive Reaktion auslösen, während Dehnungen um die neun Prozent bereits in eine katabole Stoffwechsellage führen und Gewebeschädigungen auftreten können.¹⁸ Tatsächlich gibt es auch in Untersuchungen am Menschen Hinweise darauf, dass übermäßig hohe Dehnungen die Struktur von Sehnen beeinträchtigen können.^{19, 20} Kürzlich konnte zudem in einer prospektiven Längsschnittstudie nachgewiesen werden, dass Athleten, bei denen die Dehnung der Patellarsehne bei maximaler Muskelanspannung neun Prozent oder mehr erreicht – und somit von einer erhöhten Beanspruchung der Sehne auch im Rahmen der sportlichen Aktivität auszugehen ist, ein mehr als doppelt so hohes Verletzungsrisiko haben wie Athleten ohne derartige Dysbalancen.²¹

Gezieltes Training von Sehnen (siehe umseitig) kann hier einer unausgewogenen Anpassung von Muskelkraft und Sehnensteifigkeit jedoch vorbeugen. So reagieren insbesondere Athleten mit einem ausgeprägten Defizit der Sehnensteifigkeit – so gesehen Non-Responder bezüglich der sportspezifischen plyometrischen Belastung – auf eine für die Sehne optimierte Belastungsgestaltung häufig mit einer deutlichen Anpassung der mechanischen Eigenschaften der Sehne.^{20, 22, 23} Dysbalancen aus Muskelkraft und Sehnensteifigkeit sowie die Dehnung der Sehne unter Belastung werden so reduziert. Doch auch ohne klare Veränderungen der Steifigkeit scheint sich Sehnentraining günstig auszuwirken. So konnte beispielsweise in Studien mit jugendlichen Athleten eine geringere strukturelle Anfälligkeit der Sehnen und eine Reduktion der Prävalenz von Sehnenbeschwerden erreicht werden.^{20, 24}

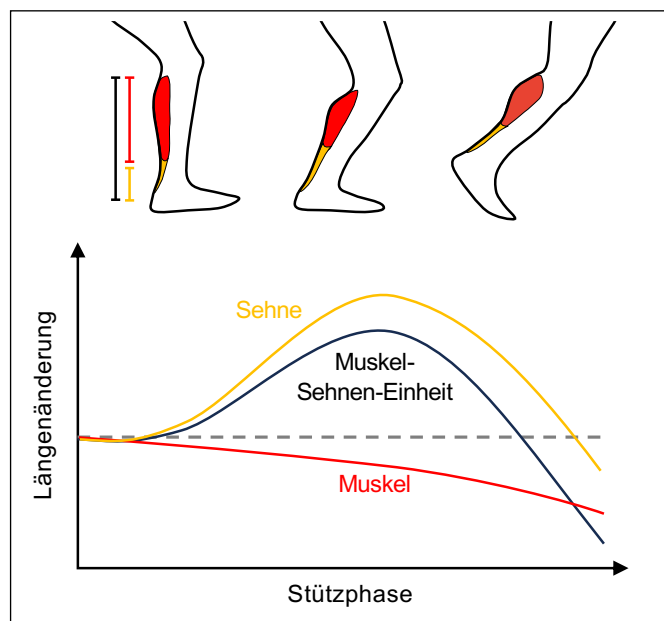


Abb. 2: Längenänderung der Muskel-Sehnen-Einheit der Plantarflexoren (schwarz) während der Stützphase beim Laufen am Beispiel des Schollenmuskels und das jeweilige Verhalten von Muskelfasern (rot) und Achillessehne (gelb). Trotz der Zunahme der Länge der Muskel-Sehnen-Einheit während der ersten 60 Prozent der Stützphase verkürzt sich der Muskel kontinuierlich. Die Sehne absorbiert dabei Energie des Körpers und zusätzlich durch den Muskel erzeugte Energie, die sie in der Abdruckphase – ähnlich einer biologischen Feder – wieder freigibt

INFOBOX Sehnentraining

- Anpassungswirksame Sehnendehnung wird erst bei relativ hohen Muskelkräfteeinsätzen erreicht, das heißt 70–90 Prozent des isometrischen willkürlichen Kraftmaximums.
- Die Kontraktionsweise des Muskels (exzentrisch, isometrisch oder konzentrisch) spielt keine entscheidende Rolle.
- Hohe Kräfteeinsätze circa drei Sekunden halten. Bei dynamischen Übungen eher sechs bis acht Sekunden, da die Belastung häufig nicht über das volle Bewegungsausmaß ausreichend ist.
- Wiederholte Belastungen sind geeigneter als konstant gehaltene Einzelbelastungen.
- Hohe Dehnungsraten (zum Beispiel durch plyometrisches Training) sind nicht so wirksam für die Sehnenadaptation.
- 15 Sätze pro Woche mit jeweils viermaligem Wechsel aus drei Sekunden Belastung und drei Sekunden Entspannung. Zwischen den Sätzen ein bis zwei Minuten Pause.
- Verteilung der Belastung über die Woche ist sekundär.
- Deutliche Effekte auf die Widerstandsfähigkeit der Sehne treten meist innerhalb von acht Wochen auf.
- Bei Tendinopathie-Patienten dürfen belastungsbedingte Schmerzen auftreten. Diese sollten jedoch von maximal mittlerer Intensität sein und nicht von Woche zu Woche zunehmen.
- Aktuell ist davon auszugehen, dass obenstehende Hinweise gleichermaßen für Frauen und Männer sowie unterschiedliche Sehnen zutreffend sind.

Gezieltes Training von Sehnen

Der entscheidende Stimulus für die Anpassung von Sehnen ist die Dehnung des Gewebes unter Belastung. Wird eine Sehne gedehnt, werden die Sehnenzellen, die in das dichte Netz von Kollagenfasern eingebettet sind, Scherkräften ausgesetzt. Die Belastung des Zellskeletts löst über verschiedene Signalwege im Zellkern eine erhöhte Proteinsynthese aus, was langfristig zu einer Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Sehne führen kann.²⁵

Aus mechanobiologischer Sicht gibt es vier Faktoren, die den mechanischen Stimulus für die Sehne charakterisieren: Unter der Dehnungsmagnitude ist zu verstehen, wie weit die Sehne unter Belastung gedehnt wird (zum Beispiel um fünf Prozent ihrer Ruhelänge). Sie ist maßgeblich von der Größe der Kraft abhängig, die der Muskel ausübt. Die Dehnungsrate kennzeichnet, wie langsam oder schnell eine Sehne gedehnt wird. Die Dehnungsdauer beschreibt, wie lange bei einer einzelnen Belastungseinwirkung (zum Beispiel einer Wiederholung im Krafttraining) die Sehne gedehnt wird, und unter Dehnungsfrequenz ist zu verstehen, wie oft eine Sehne in einem definierten Zeitraum gedehnt wird.

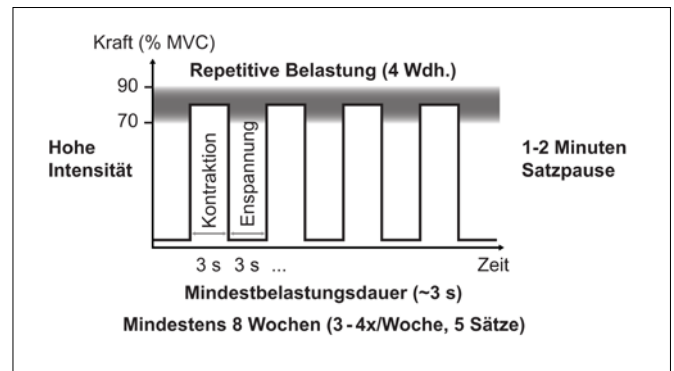


Abb. 3: Empfehlungen für ein gezieltes Sehnentraining

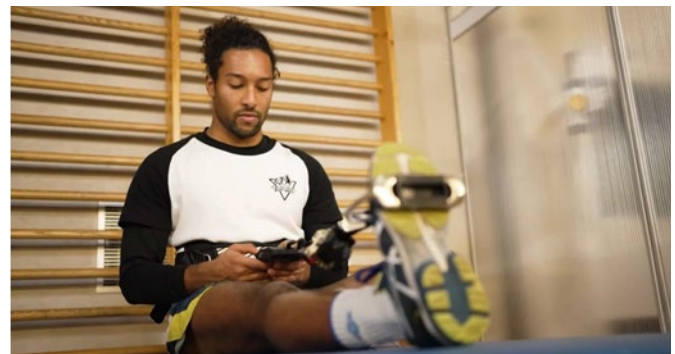
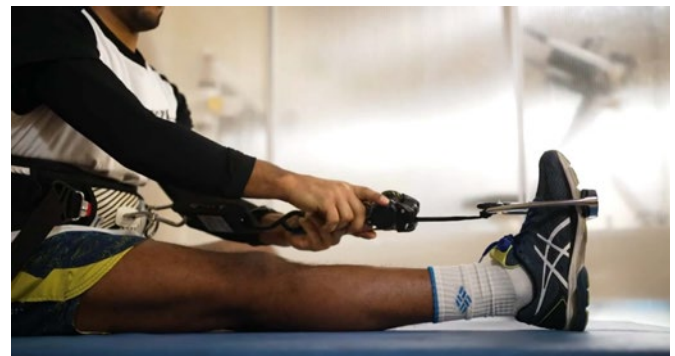


Abb. 4: Durch ein Hüfttrapez, einen Spannungsgurt, eine Lastenwaage und einen Steigbügel lässt sich ein einfaches Trainingsgerät herstellen, mit dem isometrisch durchgeführtes Sehnentraining mit guter Belastungskontrolle möglich ist

Durch eine Reihe von systematischen Interventionsstudien weiß man heute, dass eine Dehnungsmagnitude von etwa 4,5 bis 6,5 Prozent besonders günstig ist, um die Anpassung von Sehnen anzuregen und deren Widerstandsfähigkeit (Steifigkeit) zu erhöhen.²⁶⁻²⁸ Ist die Dehnung zu gering, werden nicht ausreichend viele Sehnenzellen stimuliert und bei deutlich höheren Dehnungen kann bei hohem Belastungsvolumen eine sukzessive Überlastung erfolgen.^{18, 29} Die Intensität der Kräfteerzeugung, bei der Sehnen dehnungen von 4,5 bis 6,5 Prozent erreicht werden, ist von der Zielübung abhängig und kann leider interindividuell recht unterschiedlich sein. Hohe, aber nicht maximale Kräfteeinsätze sind jedoch eine gute Orientierungsgrundlage. Die zuverlässigsten Referenzwerte liegen für isometrische Kontraktionen vor. In günstigen Gelenkwinkelbereichen mit hohem Muskelkraftpotenzial (zum Beispiel ca. 10 Grad Dorsiflexion für die Plantarflexoren oder circa 60 Grad Flexion für die Knieextensoren) sind demzufolge 70–80 Prozent des willkürlichen isometrischen Maximums empfehlenswert. Ist das Kraftpo-

tenzial aufgrund der Winkelstellung geringer (zum Beispiel bei Neutralstellung im Sprunggelenk oder 90 Grad Knieflexion), wären höhere Intensitäten (größer oder gleich 85 Prozent) notwendig, um die gleiche Kraft auf der Sehne und die entsprechende Dehnung zu erreichen. Da bei klassischen Dehnübungen (Stretching) überwiegend der Muskel gedehnt wird (die Sehnendehnung liegt bei etwa 1–2 Prozent),³⁰ kann trotz potenziell schmerzlindernder Wirkung bei Sehnenbeschwerden keine Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Sehne erreicht werden.

Liegt die Dehnung einer Sehne im anpassungswirksamen Bereich, ist eine Dehnungsdauer von etwa drei Sekunden als günstig anzusehen. Beträgt die „Einwirkzeit“ der Dehnung nur eine Sekunde, kann auch bei einer dreifach erhöhten Anzahl an Belastungszyklen nicht die gleiche Wirksamkeit erzielt werden.²⁷ Reduziert sich durch eine deutlich erhöhte Haltezeit die Anzahl der Belastungszyklen, verringert sich die Wirksamkeit offenbar ebenfalls.¹³ Hohe Dehnungsfrequenzen (das heißt schnellere Wechsel bei Belastung und Entlastung) und hohe Dehnungsraten (wie zum Beispiel bei Sprungübungen) sind entsprechend weniger effektiv als langsame, niedrig-frequente Belastungen. In Abb. 3 ist die Struktur eines Belastungsprotokolls mit vier Wiederholungen mit je drei Sekunden Anspannung und drei Sekunden Entspannung dargestellt, das in unseren experimentellen Studien die deutlichsten Anpassungseffekte erzielte. Dabei scheinen bereits 15 Sätze dieser Struktur pro Woche ausreichend zu sein, um deutliche Anpassungsreaktionen in der Sehne auszulösen. Die zeitliche Verteilung der Gesamtbelastung über die Woche ist offenbar unerheblich (das heißt, ob beispielsweise fünf Einheiten mit je drei Sätzen oder drei Einheiten mit je fünf Sätzen trainiert werden) und eine Steigerung des Gesamtvolumens (zum Beispiel 25 Sätze) bewirkt keine stärkere oder schnellere Anpassung der Sehnensteifigkeit, die (zumindest bei körperlich aktiven, aber nicht hochtrainierten jungen Männern) überwiegend innerhalb der ersten acht Wochen auftritt.³¹ Bisher gibt es zudem keine Hinweise darauf, dass geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich günstiger mechanischer Reize für das Training von Sehnen existieren. Darüber hinaus dürften die Empfehlungen – wenngleich basierend auf Studien an der Achilles- und Patellarsehne – auch für gezielte Belastungen anderer Sehnen des Körpers zutreffend sein.

Eine Umsetzung der oben empfohlenen Belastungsstruktur ist mittels isometrischer Kontraktionen empfehlenswert, da die entsprechenden Übungen technisch weniger anspruchsvoll sind als dynamische und die Belastung leichter kontrollierbar ist. Mit einfachen Mitteln lassen sich für das Training von Sehnen mobil einsetzbare Trainingssysteme herstellen, die ein gutes Monitoring der Belastung ermöglichen (Abb. 4). Prinzipiell ist die Sehne jedoch nicht sensitiv gegenüber der Kontraktionsweise des Muskels. Ausschlaggebend ist die aus der erzeugten Muskelkraft resultierende Dehnung der Sehne und nicht, in welcher Arbeitsweise der Muskel die Kraft erzeugt hat. Entgegen weit verbreiteter Über-

Unser Experte



Dr. Falk Mersmann

promovierte im Bereich Biomechanik und leitet an der Humboldt-Universität zu Berlin in der Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften die Arbeitsgruppe zur Muskel-Sehnen-Plastizität und -Adaptation

Unser Experte



Dr. Sebastian Bohm

promovierte im Bereich Biomechanik und leitet an der Humboldt-Universität zu Berlin in der Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften die Arbeitsgruppe zur Muskel-Sehnen-Interaktion und -Mechanik

Unser Experte



Prof. Dr. Adamantios Arampatzis

promovierte und habilitierte im Bereich Biomechanik und leitet die Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften an der Humboldt-Universität zu Berlin

zeugung sind exzentrische Kontraktionen für die Sehne nicht wirksamer als konzentrische oder isometrische.³² Im Umkehrschluss sind dynamische Übungen aber auch nicht weniger wirksam als isometrische und demnach lässt sich die Sehne durch eine Vielzahl unterschiedlicher Übungen trainieren, solange die Belastung und die dadurch erreichten Dehnungen hoch genug sind und je Zyklus lange genug „einwirken“ können. Da die Belastung häufig nicht über das volle Bewegungsausmaß hoch genug ist, ist bei dynamischen Übungen eine Ausführungsdauer von sechs bis acht Sekunden pro Wiederholung (zum Beispiel Beugung und Streckung) zu empfehlen, um eine Dauer mit hoher Belastung von etwa drei Sekunden im geeigneten Gelenkwinkel zu gewährleisten. Beim Training von Patienten mit Tendinopathie sind belastungsinduzierte Schmerzen bei hohen willkürlichen Kräfteinsätzen nicht zu vermeiden. Liegen diese auf einer Skala von null (keine Schmerzen) bis zehn (schlimmste vorstellbare Schmerzen) bei sechs oder höher, sollte die Intensität reduziert werden. Zudem sollten am nächsten Tag in Ruhe deutlich geringere Beschwerden als zum Ende des Trainings vorhanden sein, sowie keine sukzessive Zunahme der Beschwerden während des Trainings auftreten.³³ Alle wesentlichen Hinweise sind auch noch einmal in der „Infobox Sehnentraining“ zusammengefasst.

Fazit

Wir halten also fest, dass Sehnen nicht nur der Kraftübertragung dienen, sondern erheblich die Kräfteerzeugung und Leistungsfähigkeit des Muskels beeinflussen. Dieser Einfluss ist besonders positiv, wenn Muskelkraft und Steifigkeit der Sehne in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Sowohl eine zu steife als auch zu nachgiebige Sehne wirken sich negativ aus. Wird durch Training die Kraftfähigkeit von Athleten entwickelt, ist demzufolge auch eine adäquate Anpassung der Sehne notwendig, damit das Potenzial des Muskels ausgeschöpft werden kann. Zudem könnte auch das hohe Aufkommen von Überlastungsbeschwerden der Sehne bei einer Vielzahl von Sportlern in einer unzureichenden Anpassung der Sehne begründet liegen. Die vorwiegend plyometrische Belastung der entsprechenden Risikosportarten zeigt in vielen Fällen eine geringe Wirksamkeit im Hinblick auf die Anpassung der Steifigkeit (und damit der Widerstandsfähigkeit) von Sehnen. Werden jedoch durch spezifisches Sehnentraining günstige mechanische Reize in das Athletikprogramm integriert, kann der Stoffwechsel von Sehnen und die Anpassung der mechanischen Eigenschaften positiv beeinflusst werden. Ein effektives Sehnentraining ist vorwiegend dadurch charakterisiert, dass die Sehne wiederholt für mehrere Sekunden durch relativ hohe Muskelkräfteinsätze in einen anpassungswirksamen Bereich gedehnt wird. Die Art der Muskelkontraktion (exzentrisch, isometrisch oder konzentrisch) ist dabei nicht entscheidend.



Literaturverzeichnis:

Die Literaturliste zu diesem Artikel steht Ihnen unter leistungssport.net/aktuelle-ausgabe zur Verfügung oder scannen Sie den QR-Code