

Dysbalancen der Muskel- und Sehnenadaptation bei jugendlichen Athleten

Mersmann F.^{1,2}, Bohm S.^{1,2}, Schroll A.^{1,2}, Marzilger R.^{1,2} und Arampatzis A.^{1,2}

¹ Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften,
Humboldt-Universität zu Berlin

² Berlin School of Movement Science



Hintergrund

Muskel-Sehnen-Einheit jugendlicher Athleten

Mechanische Belastung

- Aktivierung
 - Morphologie
 - Architektur
- Folland et al. 2007
Kurihara et al. 2007
O'Brien et al. 2010a,c

Muskelkraft

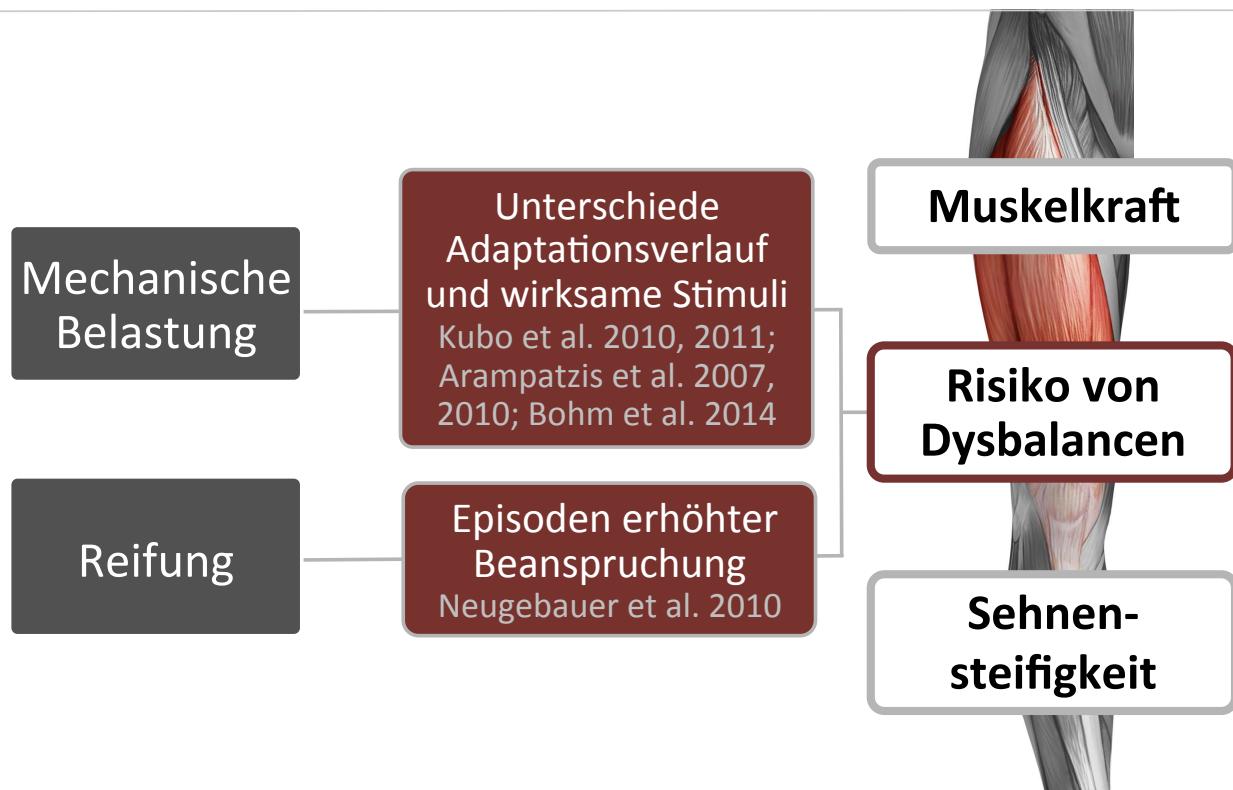
Reifung

- Materialeigenschaften
 - Sehnenquerschnitt
- Bohm et al. 2015
O'Brien et al. 2010b

Sehnensteifigkeit

Hintergrund

Muskel-Sehnen-Einheit jugendlicher Athleten



Hintergrund

Dysbalancen und Verletzungsrisiko

- Evidenz für Dysbalancen bei adoleszenten Volleyballathleten
Mersmann et al. 2014, 2015
- Zusammenhang mechanische Beanspruchung und Überlastung
Arya & Kulig 2010; Child et al. 2010; Couppé et al. 2013

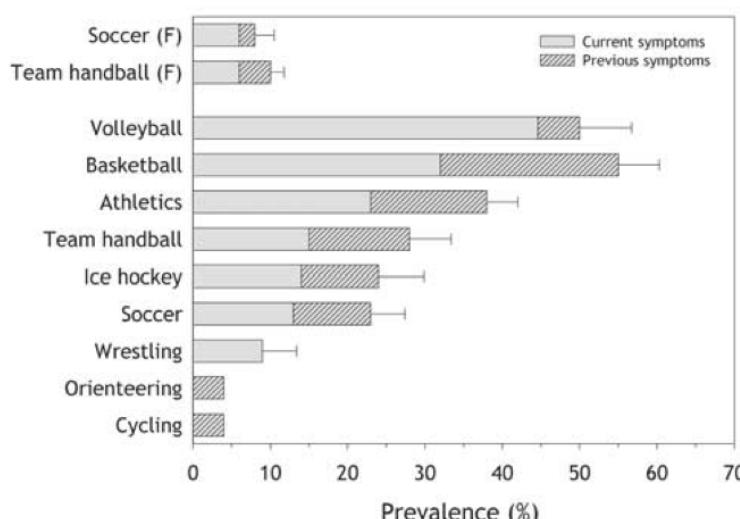


Abb.: Prävalenz von Tendinopathien bei 613 Athleten verschiedener Sportarten. Lian et al. 2005, p. 563

Hintergrund

Fragestellung

Das Ziel dieser Studie war es...

- detaillierte Informationen über den **Adaptationsverlauf** von **Muskel** und **Sehne** während der **Adoleszenz** zu gewinnen
- den **Effekt** von **Training** auf die **Uniformität** der Entwicklung von Muskel und Sehne zu untersuchen

Hypothesen



Nicht-uniforme Entwicklung von Muskel und Sehne
→ Episoden **erhöhter Sehnenbeanspruchung** bei
Athleten

Methoden

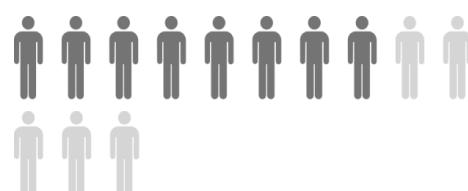
Teilnehmer & experimentelles Design

Adolescente Athleten



- 7 m, 5 w
- 16 ± 1 Jahre; 187 ± 7 cm; 73 ± 10 kg
- Volleyball Kaderathleten
~3h Kraft-, ~4h Athletik- & ~9h Balltraining pro Woche

Kontrollgruppe



- 3 m, 5 w
- 16 ± 1 Jahre; 169 ± 9 cm; 57 ± 9 kg
- Sportliche Aktivität < 2x / Woche



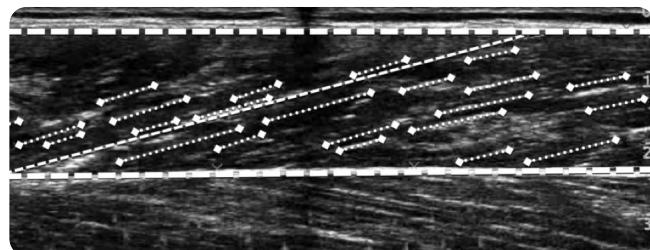
Methoden

Muskeleigenschaften

▪ Morphologie & Architektur

Muskeldicke, Fiederungswinkel

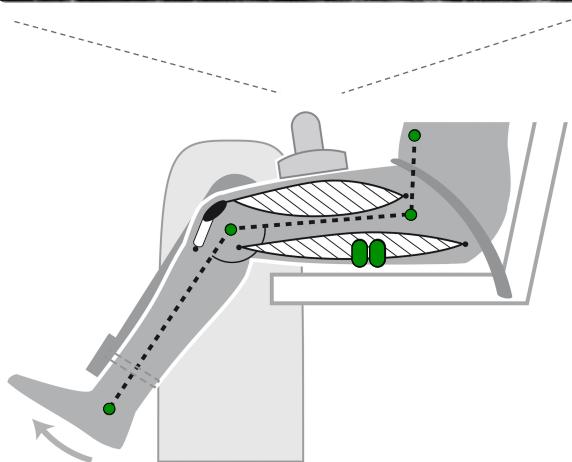
- Inaktiver Muskel (Vastus lateralis)
- 60° Kniewinkel



▪ Muskelkraft

Knieextensionsmomente

- Achsenverschiebungen Arampatzis et al. 2004
- Gravitationsmomente Arampatzis et al. 2004
- Antagonistische Koaktivierung Mademli et al. 2004



Methoden

Sehneneigenschaften

▪ Mechanische Eigenschaften

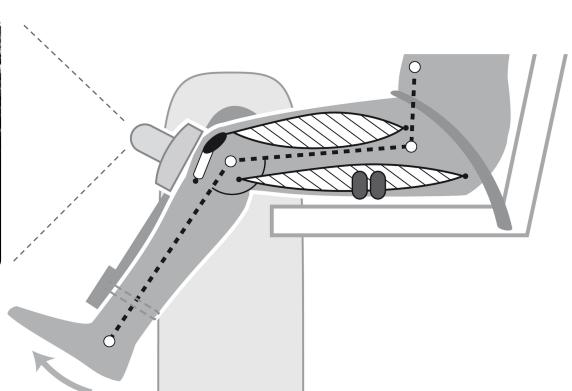
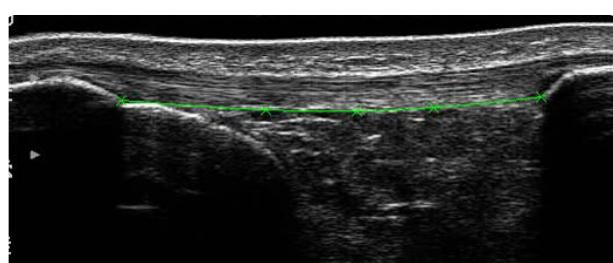
Sehnensteifigkeit, maximale Dehnung

- Fünf isometrische Kontraktionen Schulze et al. 2012
- Kraft-Elongations-Verhältnis

▪ Hebelarm

zur Kalkulation der Sehnenkraft

- Athleten: MRT Segmentierung Churchill et al. 1998; Herzog & Read 1993
- Kontrollgruppe: Vorhersage über anthropometrische Daten



Methoden

Sehneneigenschaften

■ Mechanische Eigenschaften

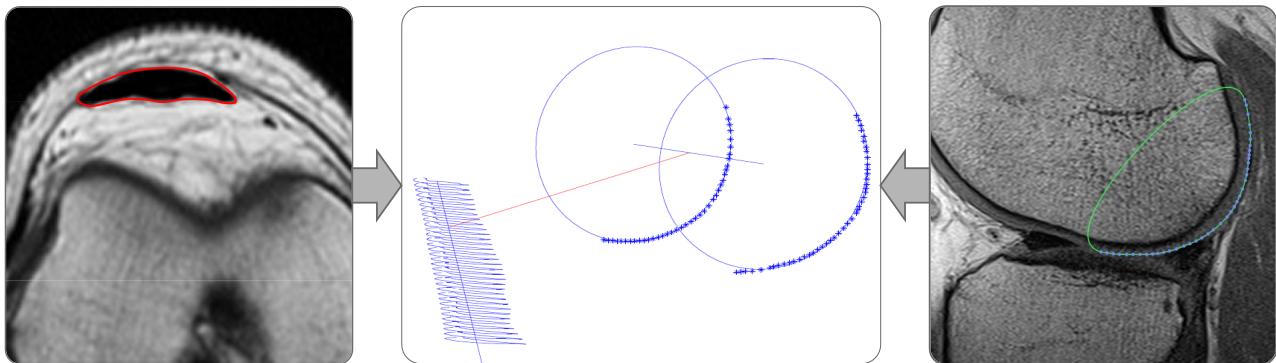
Sehnensteifigkeit, maximale Dehnung

- Fünf isometrische Kontraktionen Schulze et al. 2012
- Kraft-Elongations-Verhältnis

■ Hebelarm

zur Kalkulation der Sehnenkraft

- Athleten: MRT Segmentierung Churchill et al. 1998; Herzog & Read 1993
- Kontrollgruppe: Vorhersage über anthropometrische Daten



Falk Mersmann | falk.mersmann@hu-berlin.de

9

Methoden

Datenanalyse

■ Zeitabhängige Veränderungen und Gruppenunterschiede

Lineares Mixed-Modell (LMM)

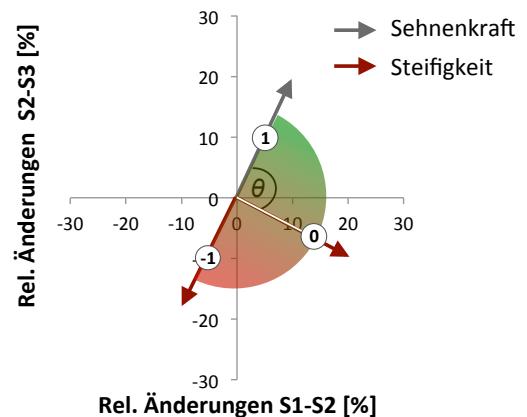
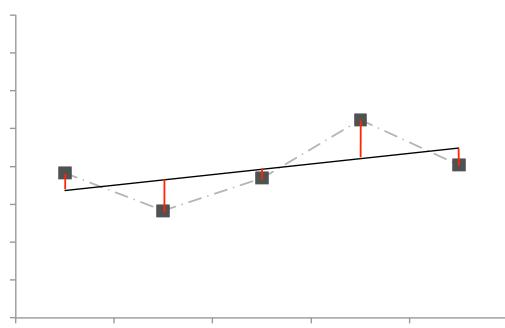
■ Fluktuationen über die Zeit

Absolute Residuen des LMM

■ Assoziation & Uniformität der Muskel-Sehnen-Adaptation

LMM & Kosinusähnlichkeit

- Assoziation: LMM Vorhersage Steifigkeit über Sehnenkraft
- Uniformität: Kosinusähnlichkeit der relativen Veränderungen

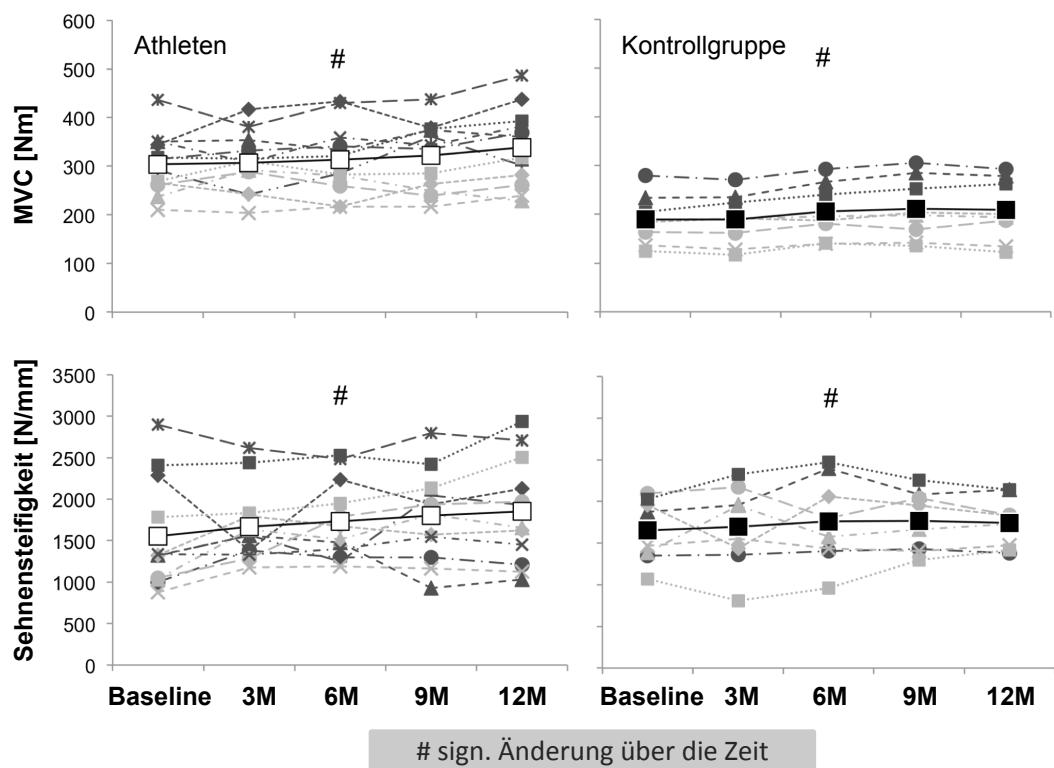


Falk Mersmann | falk.mersmann@hu-berlin.de

10

Ergebnisse

Entwicklung der Muskelkraft & Sehnensteifigkeit

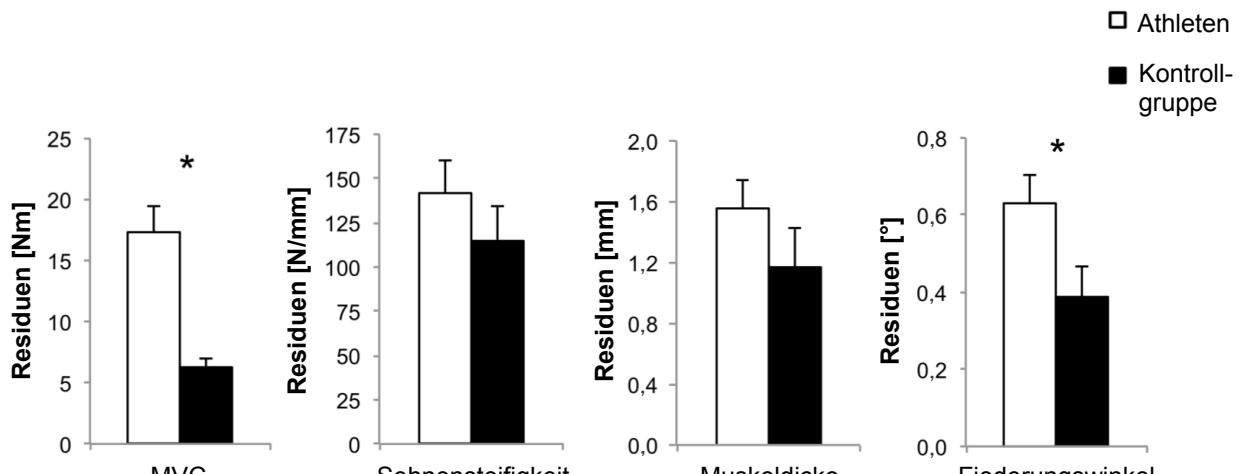


Falk Mersmann | falk.mersmann@hu-berlin.de

11

Ergebnisse

Fluktuation der Muskel-Sehnen-Eigenschaften



* sign. Unterschied zw. Gruppen

- Größere Fluktuationen Muskelkraft & Fiederungswinkel bei Athleten
- Fiederungswinkel und Muskeldicke eng mit MVC assoziiert ($R^2 \geq 0,94$)

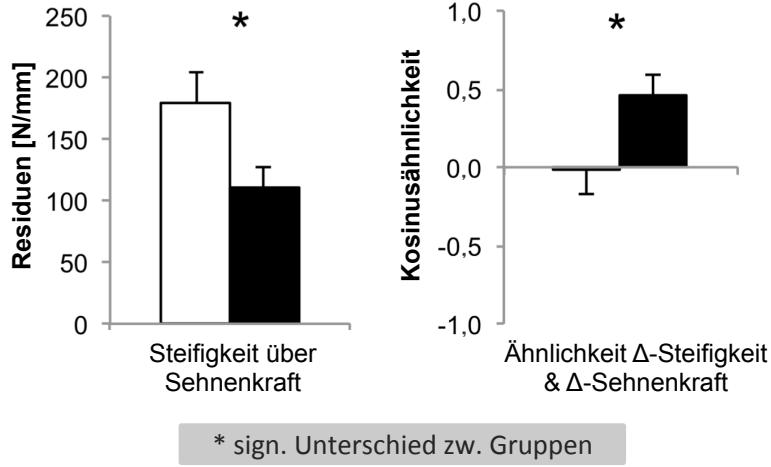
Falk Mersmann | falk.mersmann@hu-berlin.de

12

Ergebnisse

Uniformität von Sehnenkraft und Steifigkeit

 Athleten
 Kontroll-
 gruppe

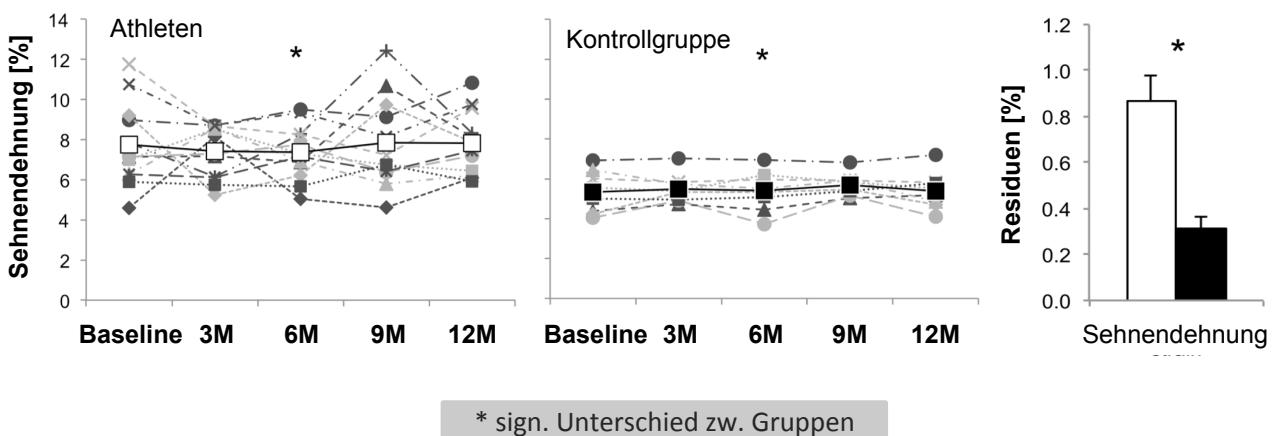


- Athleten zeigten eine niedrigere Assoziation und Uniformität der Muskel- und Sehnenadaptation

Ergebnisse

Konsequenzen für die Sehne

 Athleten
 Kontroll-
 gruppe



- Athleten zeigten im Mittel höhere maximale Sehnen-dehnungen, sowie größere Fluktuationen der Dehnung

Diskussion

Nicht-uniforme Adaptation von Muskel und Sehne

- Athleten zeigten **größere Fluktuationen der Muskelkraft**
 - Saisonale Variabilität der mechanischen Belastung Koutedakis 1995
- ... und **geringere Uniformität** der Muskel- und Sehnenadaptation.
 - Plyometrisches Belastungsprofil effektiv für Muskel- aber nicht Sehnenadaptation Kubo et al. 2007; Bohm et al. 2014

→ Größere chronische Beanspruchung der Sehne

- Möglicher Beitrag zur Prädisposition für Überlastungserscheinungen der Sehne Arya & Kulig 2010; Child et al. 2010

Diskussion

Nicht-uniforme Adaptation von Muskel und Sehne

- Athleten zeigten **größere Fluktuationen der Muskelkraft**
 - Saisonale Variabilität der mechanischen Belastung Koutedakis 1995
- **Verletzungsprävention: Spezifisches Sehnentraining**
→ $\geq 85\%$ MVC Kontraktionen, ~ 3 s Kontraktionsdauer
Arampatzis et al. 2007, 2010; Bohm et al. 2014
 - Plyometrisches Belastungsprofil effektiv für Muskel- aber nicht Sehnenadaptation Kubo et al. 2007; Bohm et al. 2014
- **Diagnostik: Bewertung des Verletzungsrisikos**
→ Dehnung der Sehne bei maximalen Kontraktionen als Marker zur Evaluation der Beanspruchung
 - Möglicher Beitrag zur Prädisposition für Überlastungserscheinungen der Sehne Arya & Kulig 2010, Child et al. 2010

Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!

Folien & Literaturverzeichnis zum Download

[Link](#)

Sebastian
Bohm



Arno
Schroll



Robert
Marzilger



Adamantios
Arampatzis



Falk Mersmann | falk.mersmann@hu-berlin.de

17

Referenzen

- Arampatzis A, Karamanidis K, Albracht K. Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. *J Exp Biol.* 2007 Aug;210(Pt 15):2743–53.
- Arampatzis A, Karamanidis K, De Monte G, Stafilidis S, Morey-Klapsing G, Bruggemann G. Differences between measured and resultant joint moments during voluntary and artificially elicited isometric knee extension contractions. *Clin Biomech.* 2004;19(3):277–83.
- Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S, Albracht K. Plasticity of human Achilles tendon mechanical and morphological properties in response to cyclic strain. *J Biomech.* 2010;43(16):3073–9.
- Arya S, Kulig K. Tendinopathy alters mechanical and material properties of the Achilles tendon. *J Appl Physiol.* 2010 Mar 1;108(3):670–5.
- Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Medicine - Open.* 2015 Mar 27;1:7.
- Bohm S, Mersmann F, Tettke M, Kraft M, Arampatzis A. Human Achilles tendon plasticity in response to cyclic strain: effect of rate and duration. *Journal of Experimental Biology.* 2014 Nov 12;217(22):4010–7.
- Child S, Bryant AL, Clark RA, Crossley KM. Mechanical properties of the achilles tendon aponeurosis are altered in athletes with achilles tendinopathy. *Am J Sports Med.* 2010 Sep;38(9):1885–93.
- Churchill D, Incavo S, Johnson C, Beynnon B. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(356):111–8.
- Couppé C, Kongsgaard M, Aagaard P, Vinther A, Boesen M, Kjaer M, et al. Differences in tendon properties in elite badminton players with or without patellar tendinopathy. *Scand J Med Sci Spor.* 2013 Jan 10;:n–a.
- Folland JP, Williams AG. The Adaptations to Strength Training: Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Med.* 2007;37:145–68.

Falk Mersmann | falk.mersmann@hu-berlin.de

18

Referenzen

- Herzog W, Read LJ. Lines of action and moment arms of the major force-carrying structures crossing the human knee joint. *J Anat.* 1993 Apr;182 (Pt 2):213–30.
- Koutedakis Y. Seasonal Variation in Fitness Parameters in Competitive Athletes. *Sports Med.* 1995 Jun;19(6):373–92.
- Kubo K, Ikebukuro T, Maki A, Yata H, Tsunoda N. Time course of changes in the human Achilles tendon properties and metabolism during training and detraining in vivo. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Nov 22;112(7):2679–91.
- Kubo K, Ikebukuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H. Time course of changes in muscle and tendon properties during strength training and detraining. *J Strength Cond Res.* 2010 Feb;24(2):322–31.
- Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, et al. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sport Exer.* 2007 Oct;39(10):1801–10.
- Kurihara T, Kanehisa H, Abe T, Tsunoda N, Fukunaga T, Kawakami Y. Gastrocnemius muscle architecture and external tendon length in young boys. *J Biomech.* Elsevier; 2007 Jan;40:S690–.
- Lian OB, Engebretsen L, Bahr R. Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports: a cross-sectional study. *Am J Sports Med.* 2005 Apr;33(4):561–7.
- Mademli L, Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Bruggemann G. Effect of ankle joint position and electrode placement on the estimation of the antagonistic moment during maximal plantarflexion. *J Electromogr Kines.* 2004;14(5):591–7.
- Mersmann F, Bohm S, Schroll A, Boeth H, Duda G, Arampatzis A. Evidence of imbalanced adaptation between muscle and tendon in adolescent athletes. *Scand J Med Sci Spor.* 2014 Dec 27;24(4):E283–9.
- Mersmann F, Bohm S, Schroll A, Boeth H, Duda GN, Arampatzis A. Muscle and tendon adaptation in adolescent athletes: A longitudinal study. *Scand J Med Sci Spor.* 2015; doi: 10.1111/sms.12631. [Epub ahead of print].

Referenzen

- Neugebauer JM, Hawkins DA. Identifying factors related to Achilles tendon stress, strain, and stiffness before and after 6 months of growth in youth 10–14 years of age. *J Biomech.* 2012 Sep 21;45(14):2457–61.
- O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. *Exp Physiol.* 2010a Jan;95(1):202–10.
- O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Mechanical properties of the patellar tendon in adults and children. *J Biomech.* 2010b Apr 19;43(6):1190–5.
- O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Muscle-tendon structure and dimensions in adults and children. *J Anat.* 2010c May 1;216(5):631–42.
- Schulze F, Mersmann F, Bohm S, Arampatzis A. A wide number of trials is required to achieve acceptable reliability for measurement patellar tendon elongation in vivo. *Gait & Posture.* 2012 Feb;35(2):334–8.