

T. Hein^{1,2}, P. Janssen², S. Grau^{1,2}

Risikofaktoren in der Entstehung von Achillessehnenbeschwerden im Laufsport

Risk factors leading to the development of achilles tendon pain in runners

Zusammenfassung: Aktuell gibt es keine allgemein gültigen und konsistenten Studienergebnisse, die eindeutig Risikofaktoren für das Entstehen von Achillessehnenbeschwerden (AS) bei Läufer/innen aufzeigen. Aus diesem Grund wurde die vorliegende prospektive Studie durchgeführt, um den multifaktoriellen Einfluss von klinischen, biomechanischen und trainingsspezifischen Risikofaktoren auf die Entstehung von AS im Laufsport zu untersuchen. So zeigen Läufer/innen mit AS bereits in einem beschwerdefreien Zustand schwächere Knieflexoren und Veränderungen im Bewegungsablauf der unteren Extremität (sagittale Knie- und Sprunggelenkbewegung), verglichen mit einer gematchten Kontrollgruppe. Zudem scheint es, dass eine Kombination aus verändertem Bewegungsablauf der unteren Extremität und erhöhten Aufprallkräften (als Folge von schnelleren Trainingseinheiten) zu einer erhöhten Belastung der Achillessehne während der Lastaufnahme und dann resultierend zu Achillessehnenbeschwerden führt.

Schlüsselwörter: Überlastungsbeschwerden, Achillessehnenbeschwerden, Laufen, prospektive Untersuchung, multifaktoriell

Zitierweise

Hein T, Janssen P, Grau S. Risikofaktoren in der Entstehung von Achillessehnenbeschwerden im Laufsport. OUP 2015; 01: 018–026 DOI 10.3238/oup.2015.0018–0026

Summary: There are currently no generally accepted consistent results, which clearly characterize factors causing Achilles tendon pain (AT) in runners. Therefore, we carried out a prospective study to evaluate the multifactorial influence of clinical, biomechanical (isometric strength measurements and 3D-kinematics) and training-related risk factors on the development of AT. In an uninjured state, AT runners already demonstrated decreased knee flexor strength and abnormal lower leg kinematics (sagittal knee and ankle joint) compared with a matched control group. A combination of alterations in lower leg kinematics and higher impacts caused by fast training sessions might lead to excessive stress on the Achilles tendon during weight bearing and to AT in runners.

Keywords: overuse injury, Achilles tendon pain, running, prospective, multifactorial

Citation

Hein T, Janssen P, Grau S. Risk factors leading to the development of achilles tendon pain in runners. OUP 2015; 01: 018–026 DOI 10.3238/oup.2015.0018–0026

Einleitung

Der Laufsport gehört zu den beliebtesten Sportarten weltweit, wobei die Anzahl der Läufer/innen seit den 80er Jahren stetig steigt [1, 2]. Neben zahlreichen positiven Effekten auf das Herz-Kreislauf-System, das Immunsystem sowie das muskuloskeletale System [3, 4], kommt es immer wieder zu laufbedingten akuten oder überlastungsspezifischen Beschwerden an der unteren Extremität [5–7]. Epidemiologische Studien zeigen, dass zwischen 20 % und 90 % aller Läufer/innen

jährlich eine Überlastungsbeschwerde (ÜB) generieren [8, 9]. Trotz zahlreicher wissenschaftlicher Studien zur Bestimmung von Risikofaktoren in der Entstehung von ÜB in den letzten Jahrzehnten konnte diese hohe Rate an laufbedingten Beschwerden nicht verringert werden [10]. Zwischen 5 % und 34 % der laufbedingten ÜB sind an der Achillessehne zu finden [11–13], die dann zu einer Reduzierung des Laufpensums oder zu einer längerfristigen Laufpause führen können.

Zahlreiche Studien und Reviews, die den Einfluss intrinsischer und extrinsi-

scher Risikofaktoren auf die Entstehung von Achillessehnenbeschwerden (AS) untersuchten, wurden in den letzten Jahren veröffentlicht. So scheint die Entstehung von AS auf multifaktoriellen Entstehungsmechanismen zu beruhen, die sich aus klinischen, biomechanischen und trainingsspezifischen Risikofaktoren zusammensetzen. Beispiele klinischer Risikofaktoren bei Läufer/innen mit AS im Vergleich zu beschwerdefreien Läufer/innen sind eine reduzierte Dehnfähigkeit des Gastrocnemius-Soleus Komplexes sowie eine verringerte Beweglichkeit im

¹ Göteborgs Universitet, Institutionen för Kost- och Idrottsvetenskap, Göteborg, Schweden

² Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Sportmedizin

oberen Sprunggelenk (OSG) [11, 12, 14]. Smart et al. [15] und Clement et al. [11] zeigten zudem, dass die verminderte Beweglichkeit des OSG zu einer erhöhten Kniebeugung führen kann, was wiederum eine erhöhte Pronationsbewegung zur Folge haben kann. Diese Veränderungen im Bewegungsablauf resultieren in einer „whipping action“ der Achillessehne, welche dann zu Mikrotraumata in der Sehne führen kann. Aus biomechanischer Sicht können nicht nur Auffälligkeiten in der Kinematik der unteren Extremität, wie eine erhöhte Pronationsbewegung [16–18], sondern auch verminderte Kraftfähigkeiten oder muskuläre Dysbalancen [19, 20] als potenzielle Risikofaktoren genannt werden. Zudem wurden häufig auch trainingsbedingte Fehler als Risikofaktoren genannt, wie zum Beispiel erhöhtes wöchentliches Laufpensum, Veränderungen in der individuellen Trainingsgestaltung, erhöhte Anzahl schneller Laufeinheiten, vermehrtes Laufen auf bestimmten Laufuntergründen sowie die Schuhwahl [9, 11, 21, 22].

Es lässt sich folglich festhalten, dass die Entstehung von AS scheinbar auf multifaktorielle Entstehungsmechanismen zurückzuführen ist. Dennoch liegen keine allgemeingültigen und konsistenten Ergebnisse vor, die die individuellen klinischen, biomechanischen und trainingspezifischen Risikofaktoren für die Entstehung von AS beschreiben. Ein wesentlicher Grund für diesen fehlenden Zusammenhang ist das zumeist retrospektive Studiendesign der beschriebenen Studien, da hierdurch Ursache und Wirkung nicht abschließend geklärt werden können [23]. Das Fehlen von nach Geschlecht und BMI gematchten Kontrollgruppen [18] kann als weiterer Grund für die fehlende Evidenz genannt werden. Die Untersuchung unterschiedlicher Laufpopulationen (Anfänger, Hobbyläufer, Eliteläufer oder gar Militärrekruten) sowie unterschiedlicher Zeiträume der Trainingskontrolle, inklusive variierender Trainingsmethoden, kann als weiteres Problem angesehen werden. Weiterhin zeigen sich inkonsistente Definitionen laufbedingter ÜB [24, 25].

Aus diesen Gründen sollten zukünftige Studien prospektiv angelegt sein, eine zur ÜB gematchte Kontrollgruppe verwenden, eine klar definierte Laufpopulation einschließen sowie vergleichbare

| Probanden | Anzahl | Prozent |
|---------------------------------------|--------|---------|
| Teilnahme Eingangsuntersuchung | 269 | 100 |
| Erfolgreiche Teilnahme | 142 | 53 |
| Drop-outs | 127 | 47 |
| Erfolgreiche Teilnahme | 142 | 100 |
| Beschwerdefreie Probanden | 97 | 68 |
| Probanden mit Überlastungsbeschwerden | 45 | 32 |
| Probanden mit Überlastungsbeschwerden | 45 | 100 |
| Achillessehnenbeschwerden | 10 | 22 |
| Plantarfasciitis | 7 | 16 |
| Patellaspitzensyndrom | 6 | 13 |
| Ilio-tibiales Bandsyndrom | 3 | 7 |
| chienbeinkanten-Syndrom | 3 | 7 |
| Hüfte allgemein | 4 | 9 |
| Knie unbekannt/andere | 7 | 16 |
| Fuß unbekannt/andere | 5 | 11 |

Tabelle 1 über die eingeschlossen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer.

Zeiträume der Trainingsüberwachung verwenden [9, 18, 20, 22, 26–28].

Basierend auf den Erkenntnissen bereits publizierter Studien wurde die vorliegende prospektive Studie durchgeführt, um den multifaktoriellen Einfluss von klinischen, biomechanischen und trainingspezifischen Risikofaktoren auf die Entstehung von AS im Laufsport zu untersuchen. Zudem ergaben sich die folgenden 3 Studienhypothesen.

1. Läufer/innen, die AS generieren, zeigen eine sagittale Bewegungseinschränkung des Sprunggelenks bereits in einem beschwerdefreien Zustand.

2. Eine erhöhte Pronationsbewegung in Kombination mit daraus resultierenden Bewegungsauffälligkeiten der unteren Extremität ist bei Läufer/innen bereits vor der Entstehung von AS zu sehen (im Vergleich zur beschwerdefreien Kontrollgruppe).

3. Ein erhöhtes Laufpensum und Veränderungen in der Trainingsgestaltung begünstigen das Entstehen von AS.

Methoden

Population

Beschwerdefreie Läufer/innen wurden in die Studie eingeschlossen, insofern sie die folgenden Einschlusskriterien erfüllten: zwischen 18 und 55 Jahren, wöchentliche Laufleistung von mindestens 20 km, keine Einlagenversorgung in den Laufschuhen, Beschwerdefreiheit an der unteren Extremität seit mindestens 6 Monaten, sowie keine physiotherapeutischen Maßnahmen während der letzten 6 Monate. Alle eingeschlossenen Sportler/innen nahmen an einer standardisierten Eingangsuntersuchung teil, welche eine klinische Untersuchung, eine 3-dimensional kinematische Bewegungsanalyse, isometrische Maximalkraftmessungen sowie einen Fragebogen zu den individuellen Trainingsgewohnheiten beinhaltete. Im Anschluss an die Eingangsuntersuchung waren die Teilnehmer/innen aufgefordert, ihre individuelle Trainingsgestaltung über eine Dauer

| | GB (Nm) | | GR (Nm) | | bHAB (Nm) | | bHAD (Nm) | | KFL (Nm) | | KEX (Nm) | |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS |
| MW (STD) | 133 (33) | 116 (29) | 215 (84) | 242 (75) | 216 (41) | 224 (32) | 314 (66) | 318 (79) | 149 (22) | 124 (26) | 201 (54) | 193 (50) |
| Median | 124 | 113 | 207 | 233 | 215 | 220 | 304 | 289 | 149 | 119 | 207 | 186 |
| OG-KI | 153 | 134 | 267 | 288 | 241 | 244 | 355 | 367 | 163 | 140 | 234 | 224 |
| UG-KI | 113 | 98 | 163 | 196 | 191 | 204 | 273 | 269 | 135 | 108 | 168 | 162 |

Tabelle 2 Isometrische Maximalkraft der Kontrollgruppe (KO, n = 10) und Läufer/innen mit Achillessehnenbeschwerde (AS, n = 10): Oberkörper inklusive gerade Bauch- (GB) und gerade Rückenmuskulatur (GR). Untere Extremität inklusive beidbeiniger Hüftabduktion (bHAB) und -adduktion (bHAD) sowie einbeiniger Knieflexion (KFL) und -extension (KEX). Dargestellt sind Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (STD), Mediane sowie die oberen und unteren Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle (OG-KI, UG-KI).

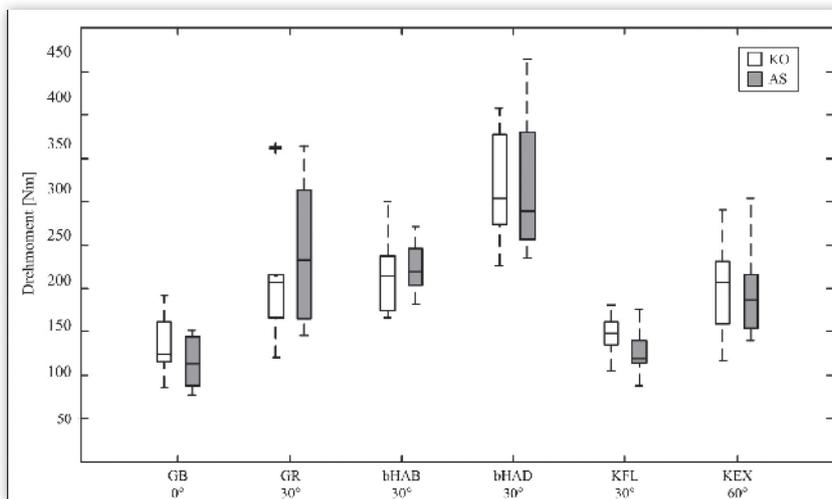


Abbildung 1 Isometrische Maximalkraftmessungen der Kontrollgruppe (KO, n = 10, weiß) und Läufer/innen, die Achillessehnenbeschwerden generieren (AS, n = 10, grau): Oberkörper inklusive gerade Bauchmuskulatur (GB) und gerade Rückenmuskulatur (GR). Untere Extremitäten inklusive beidbeinige Hüftabduktoren (bHAB) und -adduktoren (bHAD), einbeinige Knieflexoren (KFL) und -extensoren (KEX). Dargestellt sind Boxplots inklusive 25 und 75 Perzentile, Mediane und Ausreißer (x, ab 1,5-fachem IQR).

von maximal 52 Wochen zu dokumentieren. Sollte während der Teilnahme eine ÜB auftreten, wurde eine weitere Untersuchung durchgeführt, die neben einer Diagnosestellung der Symptome aus den gleichen Testprozeduren wie die Eingangsuntersuchung bestand.

269 Läufer/innen konnten für die Studienteilnahme gewonnen werden und nahmen an der Eingangsuntersuchung teil. Während der einjährigen Teilnahmedauer mussten 127 Läufer/innen (47 %) von der Studie ausgeschlossen werden. Gründe hierfür waren fehlende Rückmeldung ohne weitere Angabe von Gründen,

das Auftreten anderer Verletzungen oder Krankheiten sowie persönliche oder zeitliche Gründe. Folglich schlossen 142 Läufer/innen (53 %) die Studie erfolgreich ab. 97 Läufer/innen blieben während ihrer Teilnahme beschwerdefrei, 45 Sportler/innen (32 %) generierten eine ÜB, 10 hiervon eine AS. Eine detaillierte Zusammenstellung der Studienpopulation ist in Tabelle 1 zu finden.

Da frühere Ergebnisse einen geschlechtsbedingten und anthropometrischen Einfluss auf die biomechanischen Ergebnisse zeigten [29, 30], wurde die Kontrollgruppe (KO) nach

Geschlecht, Alter, Body-Mass-Index (BMI), Größe und Gewicht der AS-Gruppe gematcht. Folglich enthalten beide Gruppen, KO und AS, jeweils 8 männliche und 2 weibliche Personen und zeigen folgende Eigenschaften im Mittel (\pm Standardabweichung):

- KO: BMI 23 kg/m² (2), Größe 177 cm (5), Gewicht 72 kg (8), Alter 40J (2)
- AS: BMI 23 kg/m² (3), Größe 177 cm (4), Gewicht 72 kg (8), Alter 45J (5)

Definition einer Überlastungsbeschwerde

Als Hauptkriterium für die Existenz einer ÜB galt die Diagnose durch eine erfahrene Sportorthopädin. Basierend auf Trainingsdokumentation und Korrespondenz mit den Teilnehmer/innen, galten das trainingsbedingte Auftreten von Schmerz bei mindestens 66 % aller Trainingseinheiten in 2 Wochen oder bei mindestens 50 % der Trainingseinheiten in 4 Wochen sowie der expliziten Wunsch einer medizinischen Untersuchung durch die Teilnehmer/innen als Nebenkriterium für eine ÜB.

Untersuchungsmethoden

Alle klinischen Untersuchungen wurden von derselben Orthopädin durchgeführt und beinhalteten u.a. die Messung von aktiven und passiven Bewegungsausmaßen (Range of Motion, ROM) von Hüft-, Knie- und Sprunggelenken nach der Neutral-Null-Methode [31]. Auf die Quantifizierung von Gelenkwinkeln wurde aufgrund mangelnder Reliabilität und Vergleichbarkeit verzichtet. Es wurde lediglich eine Einteilung in normale,

| | KFL _{max} (°) | | tKFL _{max} (% SP) | | KFL _{ROM} (°) | | KEX _{ROM} (°) | |
|-----------------|------------------------|--------|----------------------------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|
| | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS |
| MW (STD) | 41 (4) | 37 (7) | 35 (3) | 34 (2) | 26 (3) | 26 (4) | 25 (6) | 25 (6) |
| Median | 41 | 36 | 35 | 34 | 26 | 26 | 24 | 27 |
| OG-KI | 44 | 41 | 37 | 36 | 28 | 29 | 29 | 29 |
| UG-KI | 38 | 33 | 33 | 32 | 24 | 23 | 21 | 21 |
| | DE _{max} (°) | | tDE _{max} (% SP) | | DE _{ROM} (°) | | PF _{ROM} (°) | |
| | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS |
| MW (STD) | 14 (5) | 9 (3) | 45 (1) | 43 (4) | 13 (2) | 11 (2) | 37 (5) | 35 (3) |
| Median | 15 | 8 | 45 | 43 | 13 | 11 | 36 | 35 |
| OG-KI | 18 | 11 | 46 | 45 | 14 | 13 | 40 | 37 |
| UG-KI | 10 | 7 | 44 | 41 | 12 | 9 | 34 | 33 |
| | EV _{max} (°) | | INV _{max} (°) | | EV _{ROM} (°) | | INV _{ROM} (°) | |
| | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS |
| MW (STD) | -3 (4) | -5 (3) | 5 (5) | 4 (3) | 8 (2) | 8 (3) | 8 (6) | 9 (1) |
| Median | -3 | -4 | 3 | 5 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| OG-KI | -1 | -3 | 9 | 6 | 9 | 10 | 12 | 10 |
| UG-KI | -5 | -7 | 1 | 2 | 7 | 6 | 4 | 8 |

*Ausgewählte Variablen für die sagittale Kniebewegung: maximale Knieflexion (KFL_{max}), deren Zeitpunkt (tKFL_{max}), Bewegungsausmaße von Knieflexion (KFL_{ROM}) und -extension (KEX_{ROM}). Ausgewählte Variablen für die sagittale Sprunggelenkbewegung: maximale Dorsalextension (DE_{max}), deren Zeitpunkt (tDE_{max}), Bewegungsausmaße der Dorsalextension (DE_{ROM}) und Plantarflexion (PF_{ROM}). Ausgewählte Variablen für die frontale Rückfußbewegung: maximale Eversion (EV_{max}), maximale Inversion (INV_{max}), Bewegungsausmaße der Eversion (EV_{ROM}) und Inversion (INV_{ROM}).

Tabelle 3 Dreidimensionale Kinematik der Kontrollgruppe (KO) und der Läufer/innen mit Achillessehnenbeschwerden (AS): sagittale Kniebewegung (KO: n = 9, AS: n = 9), sagittale Sprunggelenk- und frontale Rückfußbewegung (KO: n = 8, AS: n = 8). Dargestellt sind Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (STD), Mediane sowie die oberen und unteren Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle (OG-KI, UG-KI).

eingeschränkte oder erhöhte Gelenkbeweglichkeit vorgenommen, wobei die Ausmaße beider Extremitäten verglichen wurden und eine Differenz von mindestens 15° als Bewertungsgrundlage diente. Frühere Operationen sowie ÜB an den unteren Extremitäten wurden zudem dokumentiert.

Die Messung der isometrischen Maximalkraft von Oberkörper und unterer Extremität wurden auf Basis eines standardisierten Testprotokolls durchgeführt, welches sich über mehrere Jahre im klinischen Alltag als zuverlässig dargestellt hatte. Das Protokoll sah vor, dass nach einer standardisierten Eingewöhnungsphase und sich stets erhöhenden Widerstän-

den 2 maximale isometrische Muskelkontraktionen an vorgegebenen und relevanten Gelenkwinkeln [32–35] gemessen wurden. Dokumentiert wurde dabei stets der Maximalwert. Zur Quantifizierung der Maximalkraft des Oberkörpers wurde die Kraftfähigkeit der geraden Bauchmuskulatur (GB) und der geraden Rückenmuskulatur (GR) gemessen. Die Ausführung erfolgte hier in einer sitzenden Position und einem Kniewinkel von 90°. GB wurde dabei in einer aufrechten Position von 0° Oberkörperneigung gemessen, GR hingegen bei 30° Körpervorneigung. Die Kraftfähigkeit der Hüftabduktoren und -adduktoren wurde ebenfalls in einer sitzenden Position und einem Hüftabduktionswinkel von

30° (15° jede Seite) beidbeinig gemessen (bHAB, bHAD). Einbeinige Hüftabduktoren und -adduktorenkraft (eHAB, eHAD) wurde zudem im Stehen mit einem Abduktionswinkel von 20° gemessen. Knieflexoren und -extensoren (KFL, KEX) wurden einseitig in einer sitzenden Position getestet, mit einem Kniebeugewinkel von 30° für KFL und 60° für KEX. Zur Messung der einbeinigen Kraftfähigkeit der Hüftabduktoren und -adduktoren wurde die Hip Machine der Firma FREI SWISS AG (Thalwil, ZH, Schweiz) verwendet. Alle weiteren isometrischen Maximalkraftmessungen wurden auf Geräten der Firma DAVID (David, GmbH & CO KG, Neu Ulm, Deutschland) durchgeführt.

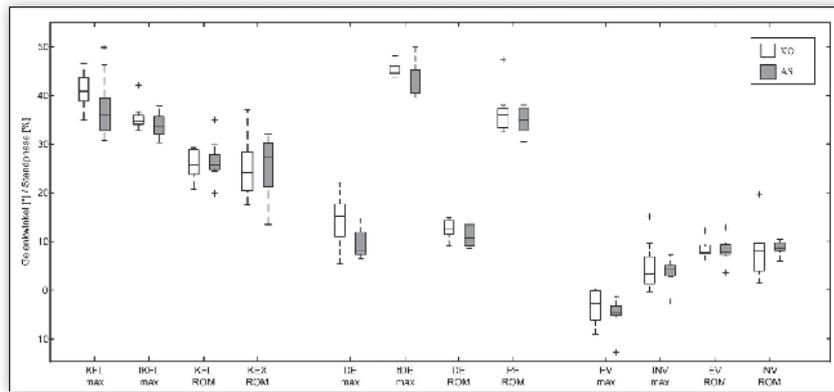


Abbildung 2 Dreidimensionale Bewegungsanalyse der Kontrollgruppe (KO, weiß) und der Läufer/innen, die Achillessehnenbeschwerden generieren (AS, grau): sagittale Kniebewegung (KO: n = 9; AS: n = 9), sagittale Bewegung des oberen Sprunggelenks und frontale Rückfußbewegung (KO: n = 8; AS: n = 8). Dargestellt sind Boxplots inklusive 25 und 75 Perzentile, Mediane und Ausreißer (x, ab 1,5-fachem IQR).

Für die 3-dimensionale Bewegungsanalyse mussten alle Probanden barfuß mit einer kontrollierten Laufgeschwindigkeit von 12 km/h ($\pm 5\%$) auf einer 13 m langen, mit EVA-Schaummatte ausgelegten Laufbahn, laufen. Ein Infrarot-Kamerasystem bestehend aus 6 Kameras der Firma Vicon Peak (MCam, M1, Oxford, Großbritannien) diente zur Erfassung der Laufbewegung. Die Aufnahme­frequenz lag bei 250 Hz. Insgesamt wurden 34 sphärische Marker auf allen Probanden nach den Richtlinien der International Society of Biomechanics angebracht [36], um die Bewegung des Beckens (2 x ASIS, 2 x PSIS), der Oberschenkel (Trochanter major, Epicondylus femoris lateralis und medialis), Unterschenkel (laterales und mediales Tibiaplateau, Tuberositas tibiae, mediale Tibiakante sowie Malleolus lateralis und medialis) und der Füße (Calcaneus lateralis, medialis und posterior, Caput metatarsale 1 und 5, Hallux) zu erfassen. Dreidimensionale Gelenkbewegungen wurden im Anschluss durch die Berechnung von Cardan-Winkeln quantifiziert [37], wobei die Gelenkbewegung als Bewegung des distalen Segments relativ zum proximalen Segment definiert wurde. Die Datenanalyse wurde auf die Standphase beschränkt, wobei Touchdown (erster Bodenkontakt) und Toe-Off (letzter Bodenkontakt) mittels eines Algorithmus von Maiwald et al. [38] automatisch detektiert wurden. Die berechneten kontinuierlichen Gelenkwinkelverläufe wurden auf 100 Datenpunkte normiert. Mittelwertberechnungen beruhen auf 10 gültigen Versuchen und wurden für die folgenden

Gelenkbewegungen quantifiziert: Hüftflexion/-extension (HFL, HEX), Hüftab-/adduktion (HAB, HAD), Knieflexion/-extension (KFL, KEX), Knieaußen-/innenrotation (KAR, KIR), Dorsalextension/Plantarflexion (DE, PF) des OSG sowie Rückfußinversion/-eversion (INV/ EV). Basierend auf den kontinuierlichen Gelenkwinkelverläufen wurden zudem die folgenden diskreten Messgrößen berechnet.

- Initialer Gelenkwinkel ($^{\circ}$) bei erstem Bodenkontakt für Hüftflexion (HFL_{init}), Hüftabduktion (HAB_{init}), Knieflexion (KFL_{init}), Knieaußenrotation (KAR_{init}), Dorsalextension OSG (DE_{init}) und Rückfußinversion (INV_{init})
- Maximaler Gelenkwinkel ($^{\circ}$) und dessen Zeitpunkt (% SP = Standphase) für Hüftflexion (HFL_{max} , $tHFL_{max}$), Hüftadduktion (HAD_{max} , $tHAD_{max}$), Knieflexion (KFL_{max} , $tKFL_{max}$), Knieinnenrotation (KIR_{max} , $tKIR_{max}$), Dorsalextension OSG (DE_{max} , tDE_{max}) und Rückfußversion (EV_{max} , tEV_{max})
- Maximaler Gelenkwinkel ($^{\circ}$) für Hüftextension (HEX_{max}), Hüftabduktion (HAB_{max}), Knieextension (KEX_{max}), Knieaußenrotation (KAR_{max}), Plantarflexion OSG (PF_{max}) und Rückfußinversion (INV_{max})
- Bewegungsausmaße ($^{\circ}$) für Hüftflexion/-extension (HFL_{ROM} , HEX_{ROM}), Hüftabduktion/-adduktion (HAD_{ROM} , HAB_{ROM}), Knieflexion/-extension (KFL_{ROM} , KEX_{ROM}), Knieinnen-/außenrotation (KIR_{ROM} , KAR_{ROM}), Dorsalextension/Plantarflexion OSG (DE_{ROM} , PF_{ROM}) und Rückfußversion/-inversion (EV_{ROM} , INV_{ROM})

- Maximale Bewegungsgeschwindigkeit ($^{\circ}/s$) für Hüftflexion/-extension (HFL_{gmax} , HEX_{gmax}), Hüftabduktion/-adduktion (HAD_{gmax} , HAB_{gmax}), Knieflexion/-extension (KFL_{gmax} , KEX_{gmax}), Knieinnen-/außenrotation (KIR_{gmax} , KAR_{gmax}), Dorsalextension/Plantarflexion OSG (DE_{gmax} , PF_{gmax}), und Rückfußversion/-inversion (EV_{gmax} , INV_{gmax})

Das individuelle Trainingsverhalten wurde mittels wöchentlichen Trainingstagebüchern über eine maximale Dauer von 52 Wochen dokumentiert. Hierbei mussten Angaben zur Lauffrequenz, -distanz, -zeit, Art der Trainingseinheit (langsam, mittel, schneller Dauerlauf, Intervalleinheiten, Wettkampf), Laufuntergründen (weich, medium, hart sowie eben, medium, uneben), das Auftreten von laufbedingten Schmerzen und deren Position sowie Angaben zu Zusatzsport und dessen Dauer gemacht werden.

Statistische Verfahren

Zur Analyse der klinischen und biomechanischen Variablen, mit Ausnahme der isometrischen Maximalkraftmessung der beidseitigen Hüftabduktion/-adduktion, wurde für AS die Seite gewählt, auf der die ÜB auftrat. Für KO wurde eine Seite randomisiert.

Aufgrund der geringen Anzahl an Probanden und der hohen Anzahl an Variablen, handelt es sich bei der Datenanalyse um eine explorative Auswertung der Ergebnisse ohne die Verwendung von schließenden statistischen Verfahren. Anstatt dessen wurden ausschließlich deskriptive Methoden wie Standardabweichungen (STD), Mediane und 95 %-Konfidenzintervalle (KI) zur Analyse herangezogen. Die Daten werden zudem grafisch in Form von Box Plots präsentiert. Vor der deskriptiven Datenanalyse wurden Pearson's Korrelationskoeffizienten berechnet, um Redundanzen in den Daten zu detektieren und um die Anzahl der darzustellenden Variablen zu reduzieren. Variablen wurden für $r > 0,6$ zusammengefasst.

Ergebnisse

Im Rahmen der klinischen Untersuchungen zeigten sich für keine der Gruppen eine Hypo- oder Hypermobilität der Hüft-, Knie- und Sprunggelenkbeweglichkeit. Aus diesem Grunde wird auf eine Präsentation der klinischen Daten verzichtet.

| | Distanz (km/Wo) | | TE langsam (%) | | TE mittel (%) | | TE schnell (%) | | UG hart (%) | |
|----------|-----------------|---------|----------------|---------|---------------|---------|----------------------|-----------|-------------|---------|
| | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS |
| MW (STD) | 32 (20) | 33 (15) | 30 (17) | 42 (21) | 47 (15) | 43 (23) | 22 (13) | 16 (11) | 75 (17) | 71 (24) |
| Median | 29 | 28 | 29 | 35 | 48 | 44 | 26 | 13 | 77 | 76 |
| OG-KI | 44 | 42 | 41 | 55 | 56 | 57 | 30 | 23 | 85 | 86 |
| UG-KI | 20 | 24 | 19 | 29 | 38 | 29 | 14 | 9 | 65 | 56 |
| | UG weich (%) | | UG uneben (%) | | UG eben (%) | | Zusatzsport (min/Wo) | | | |
| | KO | AS | KO | AS | KO | AS | KO | AS | | |
| MW (STD) | 13 (12) | 15 (24) | 29 (20) | 27 (26) | 59 (19) | 59 (24) | 110 (77) | 228 (314) | | |
| Median | 9 | 3 | 31 | 20 | 59 | 48 | 113 | 94 | | |
| OG-KI | 20 | 30 | 42 | 43 | 71 | 74 | 158 | 423 | | |
| UK-KI | 6 | 0 | 16 | 11 | 47 | 44 | 62 | 33 | | |

Tabelle 4 Wöchentliche Trainingsdaten der Kontrollgruppe (KO, n = 10) und der Läufer/innen mit Achillessehnenbeschwerden (AS, n = 10) gemittelt über die gesamte Teilnahmedauer. Dargestellt sind Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (STD), Mediane sowie die oberen und unteren Grenzen der 95%-Konfidenzintervalle (OG-KI, UG-KI). TE = Trainingseinheit, UG = Untergrund.

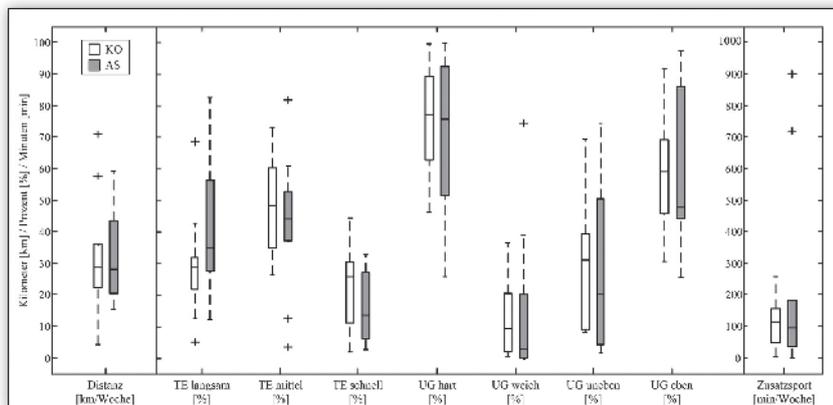


Abbildung 3 Gemittelte wöchentliche Trainingsdaten der Kontrollgruppe (KO, n = 10, weiß) und Läufer/innen, die Achillessehnenbeschwerden generieren (AS, n = 10, grau) über die gesamte Teilnahmedauer. Dargestellt sind Boxplots inklusive 25 und 75 Perzentile, Mediane und Ausreißer (x, ab 1,5-fachem IQR). TE = Trainingseinheit; UG = Untergrund.

Aufgrund hoher Korrelationen zwischen den Maximalkraftwerten der einbeinigen und beidbeinigen hüftgelenkumgebenden Muskulatur wurde auf die Darstellung der einbeinigen Maximalkraftwerte verzichtet. Die Ergebnisse der GB, GR, bHAB, bHAD, KFL und KEX sind in Tabelle 2 und in Abbildung 1 präsentiert. Es zeigt sich, dass Läufer/innen, die an AS leiden, bereits in einem beschwerdefreien Zu-

stand eine schwächere Maximalkraft der KFL aufweisen, verglichen mit den beschwerdefreien Läufer/innen der KO. Keine weiteren Unterschiede sind in Maximalkraft des Oberkörpers (GB, GR), der hüftgelenkumgebenden (bHAB, bHAD) sowie der Knieextensormuskulatur (KEX) festzustellen.

Im Rahmen der Auswertung der 3-dimensionalen Bewegungsanalyse musste

ein Proband auf Grund eines Laufstilwechsels (von Rückfuß zu Vorfuß) ausgeschlossen werden. Alle anderen Läufer/innen blieben bei ihrem Rückfuß-Laufstil. Aufgrund eines technischen Fehlers während der Datenerhebung musste ein weiterer Läufer von der Analyse der OSG- und Rückfuß-Bewegung ausgeschlossen werden. Somit stehen für die Auswertung der Hüft- und Kniegelenkbewegung jeweils 9 Probanden und für die Auswertung der OSG- und Rückfuß-Bewegung jeweils 8 Probanden zur Verfügung.

Keine Unterschiede zwischen AS und KO konnten in der Analyse der sagittalen und frontalen Hüftgelenkbewegung ermittelt werden, weswegen auf eine Präsentation dieser Daten verzichtet wird. Korrelationskoeffizienten > 0,6 wurden bei den diskreten Messgrößen der sagittalen Knie- und OSG- sowie frontalen Rückfußbewegung gefunden, sodass die Anzahl der präsentierten Parameter von 24 auf 12 reduziert wurde. In die Präsentation eingeschlossen wurden die maximale Knieflexion (KFL_{max}), deren Zeitpunkt ($tKFL_{max}$), die Bewegungsausmaße von Knieflexion (KFL_{ROM}) und -extension (KEX_{ROM}), die maximale Dorsalextension (DE_{max}), deren Zeitpunkt (tDE_{max}), die Bewegungsausmaße der Dorsalextension (DE_{ROM}) und Plan-

| | Distanz (km/Wo) | | TE langsam (%) | | TE mittel (%) | | TE schnell (%) | | UG hart (%) | |
|-----------------|-----------------|---------|----------------|---------|---------------|---------|----------------------|-----------|-------------|---------|
| | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo |
| MW (STD) | 35 (15) | 34 (26) | 42 (20) | 36 (32) | 47 (22) | 45 (31) | 11 (11) | 19 (22) | 64 (28) | 71 (24) |
| Median | 37 | 39 | 39 | 25 | 51 | 36 | 9 | 10 | 66 | 67 |
| OG-KI | 45 | 52 | 56 | 60 | 62 | 68 | 19 | 36 | 83 | 89 |
| UG-KI | 25 | 16 | 28 | 12 | 32 | 22 | 3 | 2 | 45 | 53 |
| | UG weich (%) | | uneben UG (%) | | UG eben (%) | | Zusatzsport (min/Wo) | | | |
| | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo | Rest | 14 Wo | | |
| MW (STD) | 21 (30) | 15 (27) | 55 (28) | 59 (25) | 30 (33) | 27 (27) | 60 (64) | 153 (161) | | |
| Median | 9 | 0 | 48 | 58 | 16 | 17 | 46 | 102 | | |
| OG-KI | 42 | 35 | 74 | 78 | 53 | 47 | 104 | 264 | | |
| UG-KI | 0 | -5 | 36 | 40 | 7 | 7 | 16 | 42 | | |

Tabelle 5 Prospektive Trainingsdaten der Läufer/innen vor Auftreten der Achillessehnenbeschwerden (n = 8). Vergleich der Trainingsdaten zwischen den letzten 4 Wochen vor Auftreten der Beschwerden (14 Wo) und der restlichen Teilnahmedauer (Rest). Dargestellt sind Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (STD), Mediane sowie die oberen und unteren Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle (OG-KI, UG-KI). TE = Trainingseinheit, UG = Untergrund

tarflexion (PF_{ROM}), die maximale Eversion (EV_{max}), die maximale Inversion (INV_{max}), die Bewegungsausmaße der Eversion (EV_{ROM}) und Inversion (INV_{ROM}). Trotz hoher Variabilität der Kinematikdaten, sind die Ergebnisse einiger Messgrößen zu beachten. So zeigen Läufer/innen der AS-Gruppe eine reduzierte KFL_{max} , eine reduzierte DE_{max} sowie eine erhöhte EV_{max} verglichen mit KO bereits in einem beschwerdefreien Zustand. Da die maximalen Gelenkwinkel eine hohe Korrelation mit den initialen Gelenkwinkeln aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass AS, verglichen mit KO, zudem eine geringere KFL_{init} , eine geringere DE_{init} sowie eine reduzierte INV_{init} (gleichbedeutend mit einer erhöhten Eversion) zeigt. Keine Unterschiede sind in den Bewegungsausmaßen sowie den -geschwindigkeiten der sagittalen Knie- und OSG- sowie frontalen Rückfußbewegung zwischen den beiden Gruppen zu finden (s. Tab. 3 und Abb. 2).

Nach einer Korrelationsanalyse der Trainingsdaten wurde die Anzahl der trainingspezifischen Parameter auf die folgenden reduziert: wöchentliche Trainingsdistanz, wöchentlicher Zusatzsport, prozentuale Verteilung der langsamen, mittleren und schnellen (inkl. schnelle Ausdauerläufe, Intervalleinheiten und

Wettkämpfe) Trainingseinheiten sowie die prozentuale Verteilung der verschiedenen Laufuntergründe (weich, hart, eben, uneben). Die Analyse der gemittelten Trainingsdaten der beiden Gruppen über die Teilnahmedauer zeigt, dass AS und KO eine vergleichbare Trainingsgestaltung aufweisen (Tab. 4 und Abb. 3).

Die prospektive Auswertung der Trainingsdaten beruht lediglich auf 8 Läufern, da 2 Probanden bereits nach 4 bzw. 5 Wochen AS generierten. Die prospektiven Trainingsdaten sind in Tabelle 5 sowie in Abbildung 4 zu finden. Hierbei zeigten die Läufer/innen der AS-Gruppe eine Verringerung der langsamen und eine Erhöhung der schnellen Trainingseinheiten in den letzten 4 Trainingswochen vor erstmaligem Auftreten der Beschwerden. Zudem steigt die wöchentliche Menge an Zusatzsport vor Auftreten der AS-Beschwerden. Keine Veränderungen sind im wöchentlichen Laufumfang und in den Laufuntergründen zu sehen.

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse der klinischen Untersuchungen wie der fehlende Einfluss einer eingeschränkten Mobilität des OSG

auf die Entstehung von AS in unserer Studie stimmen nicht mit den publizierten Ergebnissen vergangener Studien überein [11, 12, 14, 15]. Als Hauptursachen für diese unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich die subjektiven Beurteilungen der Gelenkbeweglichkeit (ohne die Verwendung von Goniometern) sowie die Untersuchung beschwerdefreier Hobbyläufer/innen als Folge des prospektiven Studienansatzes nennen. Es konnte in der vorliegenden Studie zudem kein Zusammenhang von Hyper- oder Hypomobilität der Hüft- und Kniegelenke und der Entstehung von AS gezeigt werden. Diese Ergebnisse lassen keinen Vergleich mit der publizierten Literatur zu, da auf die Untersuchung der Beweglichkeit der Hüft- und Kniegelenke in Hinblick auf die Entstehung von AS verzichtet wurde.

Die reduzierte Maximalkraft der Knieflexoren der AS-Gruppe im Vergleich mit der KO-Gruppe erscheint relevant, trotz der hohen Variabilität in den Kraftdaten. Hier ist allerdings zu beachten, dass die Kraftwerte von Läufer/innen ohne Normierung auf das Körpergewicht eingehen, da beide Gruppen bereits nach Geschlecht, BMI, Größe und Gewicht gematcht sind.

Basierend auf den Ergebnissen der 3-dimensionalen Bewegungsanalyse zeigt

sich kein Zusammenhang zwischen einer erhöhten Pronationsbewegung und dem Entstehen von AS, wie in der Literatur beschrieben [16–18]. Dies kann an der geringen Stichprobe dieser Studie und der daraus resultierenden hohen Variabilität der Daten liegen. Die Annahme, dass eine erhöhte Pronationsbewegung zu einer „whipping action“ der Achillessehne und final zu AS führen kann, scheint weiterhin eine Möglichkeit für das Entstehen von AS zu sein und sollte daher weiterhin Teil von zukünftigen Untersuchungen sein.

Die in der Studie gezeigten Unterschiede in der sagittalen Knie- und Sprunggelenkinematik (weniger Knieflexion und OSG-Dorsalextension) zwischen der AS- und der KO-Gruppe im beschwerdefreien Zustand treten vor allem in der ersten Hälfte der Standphase, während der Lastaufnahme, auf. Ein möglicher Entstehungsmechanismus für AS könnte demnach auf die reduzierte Maximalkraft der Knieflexoren zurückzuführen sein, da die mangelnde Kniegelenkstabilität durch ein gestreckteres Kniegelenk in der Lastaufnahme ausgeglichen werden muss. Dies kann neben einer erhöhten Zugspannung des musculus gastrocnemius und folglich, aufgrund seines medialen Ursprungs an der Tibia, auch zu einem erhöhten Torsionsstress auf die Achillessehne führen. Dieser erhöhten Zugbelastung während der Lastaufnahme in der ersten Hälfte der Standphase scheint die verminderte Dorsalextension des OSG entgegenzuwirken.

Diese Veränderungen im Bewegungsablauf der unteren Extremität können bei einer Laufleistung von über 30 km pro Woche zu Fehlbelastungen führen. Kommt es zudem zu Veränderungen in der üblichen Trainingsgestaltung hin zu mehr schnellen Trainingseinheiten oder mehr Zusatzsport (in diesem Fall vor allem Fußball und Wandern), also zu erhöhten Aufprallkräften als Folge der schnelleren Läufe oder zu erhöhten exzentrischen Belastungen auf den Bewegungsapparat können diese Veränderungen als Auslöser für AS fungieren.

Es erscheint offensichtlich, dass die Analyse gemittelter Trainingsdaten über maximal 52 Wochen nicht der richtige Ansatz ist, um den Einfluss von Training auf das Entstehen von ÜB zu untersuchen. Ein Trainingsjahr zeichnet sich auch bei Hobbyläufer/innen durch Trainingspha-

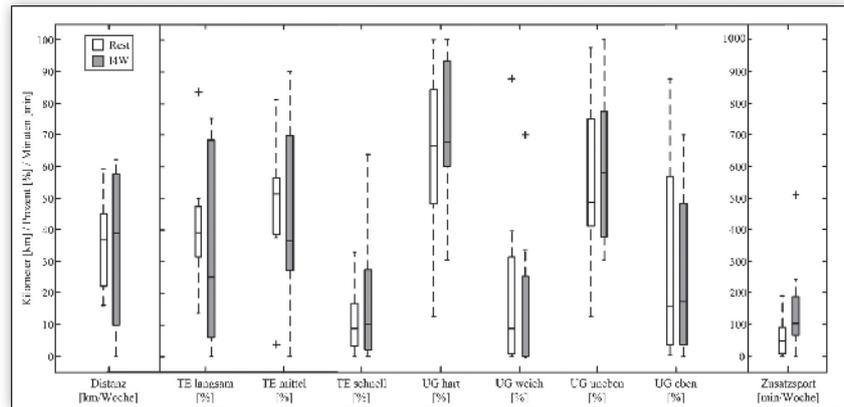


Abbildung 4 Prospektive wöchentliche Trainingsdaten der Läufer/innen, die Achillessehnenbeschwerden generieren (AS, n = 8). Vergleich der Trainingsdaten zwischen einer Periode von 4 Wochen vor Auftreten der AS (14 Wo, grau) und dem Rest der Teilnahmedauer (Rest, weiß). Dargestellt sind Boxplots inklusive 25 und 75 Perzentile, Mediane und Ausreißer (x, ab 1,5-fachem IQR). TE = Trainingseinheit; UG = Untergrund.

sen, Wettkampfphasen, Regerationsphasen oder gar Ruhephasen aus, sodass die individuelle Trainingsgestaltung durch diese Art der Analyse nicht realistisch abgebildet werden kann. Hingegen zeigt sich aber, dass der prospektive Ansatz zur Trainingsanalyse (4 Wochen vor Beginn der Beschwerden) vielversprechend sein kann und dadurch Veränderungen in der Trainingsgestaltung, die vermeidlich zur Entstehung von ÜB beitragen, analysiert werden können. Dies ist besonders für zukünftige prospektive Studien von Interesse, die die Trainingsgestaltung den Teilnehmern überlassen.

Als Nachteil dieser Studie muss allerdings das Fehlen der Maximalkraftwerte des Gastrocnemius-Soleus-Komplexes genannt werden. So zeigen Läufer/innen mit AS eine reduzierte Kraftfähigkeit der Wadenmuskulatur [12, 13] was zudem im Hinblick auf die Therapie von AS von großem Interesse zu sein scheint [19, 39, 40].

Ausblick

Die Erhöhung der Stichprobe der Läufer/innen mit ÜB in der Fortführung der Studie wird notwendig sein, um evidenzbasierte klinische, biomechanische und trainingspezifische Risikofaktoren in der Entstehung von laufbedingten ÜB zu ermitteln. Der Vergleich dieser Risikofaktoren vor und nach ÜB (in den Patientengruppen) wird als essenziell betrachtet in der abschließenden Klärung des Ursache-Wirkungs-Prinzips. Es wird sich dann zei-

gen, ob retrospektive Studien ausreichend sind zur evidenzbasierten Bestimmung von ÜB im Laufsport. Wichtig in diesem Zusammenhang erscheint, dass zukünftige Studien sich nicht auf die Bestimmung einzelner Risikofaktoren beschränken, sondern eine Kombination extrinsischer und intrinsischer Faktoren untersucht wird.

Acknowledgement: Besonderer Dank gilt Dr. Ursula Wagner-Fritz, Dr. Bettina Barisch-Fritz und Georg Haupt für die Unterstützung in der Durchführung der Studie.

Die Genehmigung zur Publizierung der Studienergebnisse in deutscher Sprache liegt durch den Verlag „John Wiley & Sons“ vor (License Number: 3505440862661). Erschienen als „Prospective analysis of intrinsic and extrinsic risk factors on the development of Achilles tendon pain in runners“ im Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2014: 24: e201-e212.

Interessenskonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des Internationalen Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Dr. rer. nat. Tobias Hein
Göteborgs Universitet
Institutionen för Kost- och
Idrottsvetenskap
Läroverksgatan 7
S-40530 Göteborg
Schweden
Tobias.Hein@gu.se

Literatur

1. Buist I, Bredeweg SW, Lemmink KaPM, et al., Predictors of running-related injuries in novice runners enrolled in a systematic training program: a prospective cohort study. *Am J Sports Med* 2010; 38: 273–280
2. Lopes AD, Hespagnol Jr MLC, Yeung SS, et al., What are the main running-related musculoskeletal injuries? *Sports Med* 2012; 42: 891–905
3. Predel H-G and Tokarski W, Einfluss körperlicher Aktivität auf die menschliche Gesundheit. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 2005; 48: 833–840
4. Williams PT, Relationship of distance run per week to coronary heart disease risk factors in 8283 male runners: the National Runners' Health Study. *Arch Int Med* 1997; 157: 191–198
5. Buist I, Bredeweg SW, Van Mechelen W, et al., No effect of a graded training program on the number of running-related injuries in novice runners a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2008; 36: 33–39
6. Hreljac A, Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical perspective. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2005; 16: 651–667
7. Walther M, Reuter I, Leonhard T, et al., Verletzungen und Überlastungsreaktionen im Laufsport. *Orthopäde* 2005; 34: 399–404
8. Satterthwaite P, Larmer P, Gardiner J, et al., Incidence of injuries and other health problems in the Auckland Citibank marathon, 1993. *Br J Sports Med* 1996; 30: 324–326
9. Van Gent R, Siem D, Van Middelkoop M, et al., Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med* 2007; 41: 469–480
10. Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, et al., Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44: 1325–34
11. Clement DB, Taunton JE and Smart GW, Achilles tendinitis and peritendinitis: Etiology and treatment. *Am J Sports Med* 1984; 12: 179–184
12. Haglund-Åkerlind Y and Eriksson E, Range of motion, muscle torque and training habits in runners with and without Achilles tendon problems. *Knee Surg, Sports traumatol, Arthroscopy* 1993; 1: 195–199
13. Mahieu NN, Witvrouw E, Stevens V, et al., Intrinsic risk factors for the development of achilles tendon overuse injury: a prospective study. *Am J Sports Med* 2006; 34: 226–235
14. Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, et al., The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med* 1999; 27: 585–93
15. Smart G, Taunton J and Clement D, Achilles tendon disorders in runners – a review. *Med Sci Sports Exerc* 1979; 12: 231–243
16. Donoghue OA, Harrison AJ, Laxton P, et al., Lower limb kinematics of subjects with chronic achilles tendon injury during running. *Res Sports Med* 2008; 16: 23–38
17. McCrory JL, Martin DE, Lowery RB, et al., Etiologic factors associated with Achilles tendinitis in runners. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 1374–1381
18. Ryan M, Grau S, Krauss I, et al., Kinematic analysis of runners with achilles mid-portion tendinopathy. *Foot Ankle* 2009; 30: 1190–1195
19. Alfredson H and Lorentzon R, Chronic achilles tendinosis. *Sports Med* 2000; 29: 135–146
20. Paavola M, Kannus P, Järvinen TA, et al., Achilles tendinopathy. *J Bone Joint Surg* 2002; 84: 2062–2076
21. Kannus P, Etiology and pathophysiology of chronic tendon disorders in sports. *Scand J Med Sci Sports* 1997; 7: 78–85
22. Murphy D, Connolly D and Beynon B, Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med* 2003; 37: 13–29
23. Almekinders LC and Temple JD, Etiology, diagnosis, and treatment of tendinitis: an analysis of the literature. *Med Sci Sport Exerc* 1998; 30: 1183–1190
24. Hoebegs J, Factors related to the incidence of running injuries. *Sports Med* 1992; 13: 408–422
25. Rolf C, Overuse injuries of the lower extremity in runners. *Scand J Med Sci Sports* 1995; 5: 181–190
26. Bovens AMP, Janssen GME, Vermeer HGW, et al., Occurrence of running injuries in adults following a supervised training program. 1989; 10: S186–S190
27. Kader D, Saxena A, Movin T, et al., Achilles tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management. *Br J Sports Med* 2002; 36: 239–249
28. Van Ginckel A, Thijs Y, Hesar NGZ, et al., Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: A prospective study. *Gait Posture* 2009; 29: 387–391
29. Grau S, Maiwald C, Krauss I, et al., The influence of matching populations on kinematic and kinetic variables in runners with iliotibial band syndrome. *Res. Quat. Exerc. Sport.* 2008; 79: 450–457
30. Krauss I, Conceptual design of female-specific running shoes with respect to clinical, biomechanical, an anthropometrical gender differences, in Faculty of Social and Behavioral Sciences. 2006, Eberhard-Karls-Universität Tübingen: Tübingen, Germany
31. Ryf C and Weymann A, The neutral zero method — A principle of measuring joint function. *Injury* 1995; 26, Supplement 1: 1–11
32. Johnson ME, Mille M-L, Martinez KM, et al., Age-related changes in hip abductor and adductor joint torques. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 593–597
33. Knapik JJ, Wright JE, Mawdsley RH, et al., Isometric, isotonic, and isokinetic torque variations in four muscle groups through a range of joint motion. *Phys Ther* 1983; 63: 938–47
34. Murray MP, Gardner GM, Mollinger LA, et al., Strength of isometric and isokinetic contractions: knee muscles of men aged 20 to 86. *Phys Ther* 1980; 60: 412–9
35. Overend TJ, Cunningham DA, Kramer JF, et al., Knee extensor and knee flexor strength: cross-sectional area ratios in young and elderly men. *J Gerontol* 1992; 47: M204–M210
36. Wu G, Siegler S, Allard P, et al., ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *J Biomech* 2002; 35: 543–548
37. Söderkvist I and Wedin P-Å, Determining the movements of the skeleton using well-configured markers. *J Biomech* 1993; 26: 1473–1477
38. Maiwald C, Sterzing T, Mayer T, et al., Detecting foot-to-ground contact from kinematic data in running. *Footwear Science* 2009; 1: 111–118
39. Alfredson H and Cook J, A treatment algorithm for managing Achilles tendinopathy: new treatment options. *Br J Sports Med* 2007; 41: 211–216
40. Grävare Silbernagel K, Thomee R, Thomee P, et al., Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain—a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 197–206