

Reule CA, Alt WW

Individuelle Risikofaktoren für Achillessehnenbeschwerden bei laufbetonten Sportarten

Individual Risk Factors Contributing to Achilles Tendon Disorders in Running Related Sports

Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Universität Stuttgart

ZUSAMMENFASSUNG

Achillessehnenbeschwerden stellen im Spitzen- und Breitensport, speziell bei laufbetonten Sportarten, ein großes Problem dar. Die Verletzungshäufigkeit liegt zwischen 16 und 23%. Eindeutige Ursachen sind bis heute nicht aufgeklärt. In dieser Studie wurden individuelle Parameter der Fußanatomie in speziellen Kollektiven bestimmt und retrospektiv sollte der Zusammenhang zu Achillessehnenbeschwerden erhellt werden. Mittels eines 3-D-Bewegungsanalyse-Verfahrens wurde die subtalare Gelenkachse (STA) bestimmt (Zebris®). Zusätzliche anatomische Merkmale der Fußanatomie lieferte eine Laufbandanalyse mit plantarer Druckverteilung und synchronisierter Videoanalyse (Zebris®). Bisherige Verletzungen und der Trainingsumfang wurden erfragt. Es wurden 495 Probanden aus laufbetonten Sportarten untersucht. Die Häufigkeit von Achillessehnenbeschwerden lag bei 15%. Es konnte ein signifikanter Mittelwertunterschied zwischen dem Deviationswinkel bei Personen mit Achillessehnenbeschwerden ($18^\circ \pm 23^\circ$) und ohne ($10^\circ \pm 23^\circ$) festgestellt werden ($p=0,002$; $d=0,3$). Mit Hilfe einer binär logistischen Regression wurden der Deviationswinkel, der Gangwinkel und die wöchentliche Laufdistanz als signifikante Einflussfaktoren identifiziert. Der Deviationswinkel der STA scheint den stärksten Einfluss auf die Entstehung von Achillessehnenbeschwerden zu haben. Eine vollständige Aufklärung der Ursachen war von Achillessehnenbeschwerden nicht möglich.

Schlüsselwörter: Achillessehne, subtalare Gelenkachse, Achillessehnenbeschwerden, multifaktoriell.

EINLEITUNG

Achillessehnenbeschwerden treten bei laufbetonten Sportarten häufig auf. Trotz intensiver Forschung über Entstehungsmechanismen sind die Ursachen nicht aufgeklärt (17). Die meisten Autoren gehen von einem multifaktoriellen Problem aus, jedoch auch multivariate Ansätze konnten nicht ausreichend zur Aufklärung beitragen (23,34).

Viele Faktoren werden als Auslöser diskutiert: die Fußform (8), eine schlechte Durchblutung der Sehne (5), Trainingsfehler (15), das Alter, das Körpergewicht (19), die Sprunggelenkinematik (31,35) oder die Überpronation (13,15). Vermutet wird eine vermehrte „Peitschenbewegung“ bei zunehmender Überpronation (6,15) und damit eine stärkere mechanische Belastung der Achillessehne. Aber auch die Forschungsarbeiten in Bezug auf die Überpronation liefern ein uneinheitliches Bild (24).

Eine asymmetrische Belastung der Sehne während des Abrollvorgangs scheint jedoch ein wichtiger beschwerdeauslö-

SUMMARY

Achilles tendon disorders are of major importance to athletes. The aim of this study was to establish a relationship between individual anatomical factors of the foot and ankle and Achilles tendon disorders by means of a measurement system for the determination of the spatial orientation of the subtalar joint axis and a treadmill-analysis. An ultrasonic pulse-echo based measurement system (Zebris®) determines the spatial orientation of the subtalar-joint-axis. Arch-index, the angle of gait and the Achilles tendon angle were also determined by a treadmill that enables plantar pressure measurement (Zebris®) and Video-analysis. Information about previous injuries and running performance was collected with a questionnaire. Measurements were taken from 495 subjects, including long distance runners and athletes from team sports. There was a significant ($p=0.002$; $d=0.3$) mean difference between the deviation angle of subjects with achilles tendon disorders ($18^\circ \pm 23^\circ$) and subjects without Achilles tendon disorders ($10^\circ \pm 23^\circ$). By means of multivariate analysis, we were able to identify the deviation angle, the running distance per week and the angle of gait as positive factors contributing to the development of achilles tendon disorders. The results showed that the deviation angle of the subtalar-joint-axis is the best predictor of achilles tendon disorders out of the three identified positive factors. However, it becomes apparent that the predicting factors integrated in this study are inadequate to explain the complex problem of the origin of achilles tendon disorders.

Key Words: Achilles tendon, subtalar-joint-axis, running injuries, multivariate analysis.

sender Stimulus zu sein (2). Es bleibt jedoch offen, welcher Mechanismus zu einer vermehrten asymmetrischen Belastung der Achillessehne führt.

Die Lage der subtalaren Gelenkachse (STA) wird in der Literatur häufig als verletzungsauslösend diskutiert (2, 12, 16, 18). Der Mechanismus, der zu asymmetrischen Belastung führt, bleibt jedoch offen.

Bei den Verfahren zur Bestimmung der STA handelt es sich meist um sehr aufwändige oder kostenintensive Verfahren (8,9,37), die es nicht erlauben große Stichproben zu erfassen. Um Risikofaktoren aufklären zu können, muss eine sehr große Stichprobe erfasst werden, damit Zusammenhänge im statistischen Vergleich sichtbar gemacht werden können. Wallenböck et al. (36) vermuten, dass die Belastungsverhältnisse in der Achillessehne unter Berücksichtigung der Lage der STA aufgeklärt werden könnten. Am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Stuttgart wurde eine Methode entwickelt, welche es ermöglicht die Lage der STA in Echtzeit, in-vivo und nicht-invasiv zu berechnen.

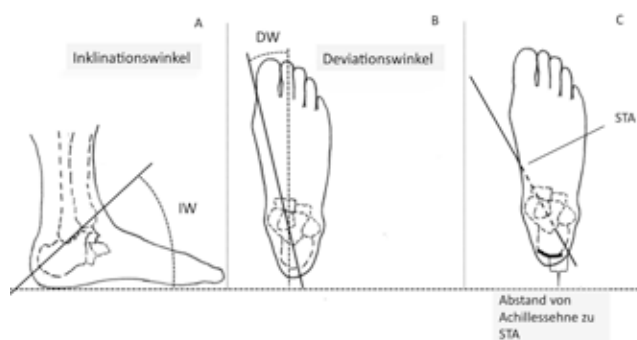


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Subtalare Gelenkchse (STA) in zwei Ebenen. A: Inklinationswinkels (IW), definiert als der Winkel zwischen Subtalarachse und Horizontalebene projiziert auf die Sagittalebene. B: Deviationswinkels (DW), definiert als der Winkel zwischen Subtalarachse und Longitudinalachse des Fußes projiziert auf die Transversalebene. C: Abstand zwischen der Achillessehne und dem Durchstoßpunkt der Subtalarachse durch die Haut in der Ansicht von dorsal.

Bedingt durch die Bewegungsachsen des oberen und unteren Sprunggelenks (USG) wird die Achillessehne durch Lageveränderungen des Rückfußes Druck- und Reibungskräften ausgesetzt (12). Bei einer STA mit positivem Deviationswinkel, definiert als der Winkel zwischen subtalarer Gelenkchse und Fußhalbierender projiziert auf die Transversalebene, (vgl. Abb. 1A) wirkt die Achillessehne in der Landephase und in der beginnenden Standphase als Bremse der Pronationsbewegung und in der Abstoßphase rückfußaufrichtend (32). Demzufolge soll die Lage der STA in Kombination mit häufig diskutierten Überlastungsfaktoren, wie Fußform (22,20), Achillessehnenwinkel (27), Beinachse (34) und Gangwinkel (3) in eine mehrfaktoriel- le Betrachtung einbezogen werden.

Ziel der Studie war es, individuelle Risikofaktoren für die Entstehung von laufinduzierten Achillessehnenbeschwerden retrospektiv an einer großen Stichprobe empirisch zu erhellen.

MATERIAL UND METHODEN

Für das Studiendesign liegt ein positives Votum der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät Tübingen vor. 495 Sportler wurden im Vorfeld der Studie ausreichend aufgeklärt und nur nach ihrem freiwilligen Einverständnis untersucht.

Aufgenommen wurden Läufer mit einer wöchentlichen Laufleistung von mindestens 25 Kilometern pro Woche und einer Lauferfahrung von mindestens drei Jahren sowie Spilsportler mit hohem Laufanteil im Training (Fußball, Handball, Basketball) gehobenen Leistungsniveaus. Akute Verletzungen der unteren Extremität oder ein stark eingeschränktes Bewegungsmaß im USG waren Ausschlusskriterien. 188 Athleten wurden post-hoc ausgeschlossen, da sie die erforderliche Messbewegung nicht präzise ausführen konnten und damit die erforderliche Messungenauigkeit nicht erreicht wurde. Insgesamt wurden 307 Probanden (respektive 614 FüÙe) eingeschlossen (vgl. Tab. 1).

Vorverletzungen, Trainingsgewohnheiten und anthropometrische Daten wurden erfragt. Die Trainingsumfänge wurden erfasst, um zu kontrollieren, ob Überlastungen möglicherweise nur durch eine hohe Laufbelastung entstanden.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten und Häufigkeit der Achillessehnenbeschwerden der Gesamtstichprobe, aller Frauen und Männer sowie der Läufer und Spilsportler.

Stichprobe (N)	Körperlänge [cm]	Körpermasse [kg]	Alter [Jahre]	BMI [kg/m ²]	Achillessehnenbeschwerden	Unverletzt
Gesamt (307)	174 ± 24	68 ± 15	39 ± 17	23	95	212
Frauen (89)	168 ± 7	60 ± 6	38 ± 12	21	15	74
Männer (218)	176 ± 28	72 ± 17	39 ± 19	23	80	138
Läufer (238)	174 ± 21	70 ± 13	42 ± 15	23	88	150
Spilsportler (69)	177 ± 12	70 ± 10	24 ± 14	22	7	62

Als Achillessehnenbeschwerden wurden Schmerzen in der Achillessehne und im umgebenden Gleitgewebe definiert, die über mehrere Wochen anhielten und offensichtlich in Zusammenhang mit Laufbelastungen standen (Schmerzen zu Beginn, während oder unmittelbar nach Belastung).

Zusätzlich wurde der Abstand der medialen Condylen und Malleolen mit Hilfe einer modifizierten Schieblehre im Stand bei maximal geschlossenen Beinen ermittelt, um die Beinachse zu erfassen (28).

Auf einem Laufband (Zebris-Technologie© FDM-TL-Horizont-Evolve) wurde eine Ganganalyse durchgeführt. Die Probanden gingen barfuß bei individueller Geschwindigkeit, um den Fußabdruck und die Pronationsbewegung ohne die Beeinflussung durch das Schuhwerk erfassen zu können.

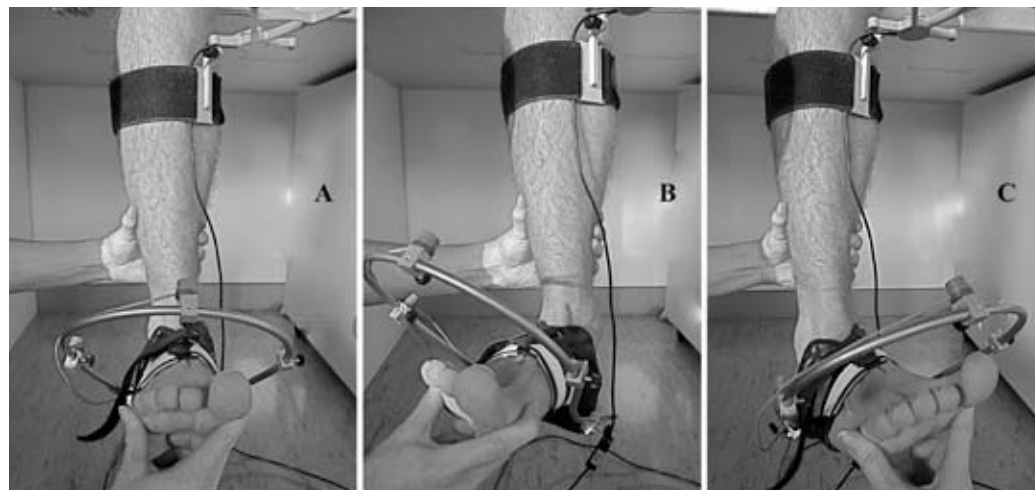
Bei der plantaren Druckverteilung ist bei höheren Geschwindigkeiten mit höheren Kraftspitzen zu rechnen (30). Da bei dieser Studie nicht mit Maximalwerten gearbeitet wurde, kann hier durch eine individuelle Geschwindigkeit nicht von zusätzlichen Fehlern ausgegangen werden. Bezüglich des Achillessehnenwinkels gibt es unterschiedliche Aussagen über den Einfluss der Geschwindigkeit. Nigg (27) konnte eine Zunahme der Pronation bei zunehmender Geschwindigkeit zeigen, Gustaffson jedoch stellte lediglich eine Zunahme zwischen Statik und Dynamik fest, jedoch keine Unterschiede bei variierenden Geschwindigkeiten (11).

Die eigentliche Messung erfolgte nach einer zweiminütigen Eingewöhnungszeit. Unter der Lauffläche des Bandes befand sich eine Messplatte zur kapazitiven Kraftmessung (Abtastrate: 120 Hz). Mit Hilfe der Zebrissoftware (WinFDM-T-Stance-video-gait-analyse_01.01.09) war es möglich die Fußfläche zu bestimmen, aus welcher der Arch-Index nach Cavanagh (4) berechnet werden konnte. Er ist Grundlage für die Klassifikation der vorliegenden Fußform in Plattfuß, Hohlfuß und Normalfuß. Es wurde der dynamische Fußabdruck verwendet (20), um dem funktionellen Verhalten des Fußes während des Abrollvorganges gerecht zu werden (28).

Anhand der aufsummierten Fußabdrücke bei Midstance wurde der Gangwinkel als der Winkel zwischen Fußhalbierender und Gangrichtung bestimmt (33).

Mit Hilfe der Bodenreaktionskraft und einer synchronisierten Videoaufzeichnung (50 Hz) wurde der initiale Achillessehnenwin-

Abbildung 2: Ultraschallgerät zur Bestimmung der subtalaren Gelenkachse. Fuß in maximaler Dorsalflexion (A), und gleichzeitiger maximaler Eversion (B) sowie maximaler Inversion (C).



kel bei Touchdown (β_0) und der maximale Achillessehnenwinkel (β_{pro}) bestimmt und daraus deren Differenz ($\Delta\beta = \beta_{\text{pro}} - \beta_0$) aus jeweils drei gemittelten Schritten berechnet (27). Markierungen entlang der Achillessehne (24) dienten bei der Auswertung zur Bestimmung des Achillessehnenwinkels.

Mittels eines Bewegungsanalysesystems wurde die STA aller Probanden beidseitig, in Echtzeit, in vivo und nicht invasiv erfasst. Das angewandte Rechenverfahren setzt für die Bewegung im USG eine reine Rotation voraus (1, 14). Ein quasi starr am Fersenbein befestigter Ultraschallsender wurde in drei Raumpositionen exakt ($\pm 1\text{mm}$) erfasst. Damit wurde die Rotationsebene im Raum relativ zur Tibia berechnet.

Die STA wurde aus sechs wiederholten Inversions- und Eversionsbewegungen berechnet. Diese Bewegung fand in einer maximalen, vom Untersucher fixierten, Dorsalflexion statt (vgl. Abb. 2) (21). In maximaler Dorsalflexion wird das obere Sprunggelenk als blockiert betrachtet. Damit findet jede Bewegung im USG statt (22). Aus den aufgezeichneten Bewegungsbahnen ließ sich die mittlere Lage der Rotationsachse (STA) im Raum berechnen.

Die Ergebnisse wurden arithmetisch gemittelt und in Form des Inklinationswinkels (definiert als Winkel zwischen subtalarer Gelenkachse und Horizontale projiziert auf die Sagittalebene) und des Deviationswinkels ausgegeben (vgl. Abb. 1A, B). Zur Reliabilitätskontrolle wurden zusätzlich die Standardabweichungen berechnet. Eine Standardabweichung größer $\pm 5^\circ$ führte zum Ausschluss der Messung.

Der Fehler des Messsystems wurde für den Inklinationswinkel mit $\leq 6\%$ und für den Deviationswinkel mit $\leq 5\%$ berechnet. Das Messsystem wurde am mechanischen Modell und das Grundprinzip der Bewegung anhand einer MRT-Untersuchung validiert (29).

Zur statistischen Analyse wurde die Statistiksoftware SPSS_17.0© verwendet. Für Mittelwertunterschiede wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben und die Effektstärke d nach Cohen berechnet (7). Unterschiede in prozentualen Verteilungen wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests untersucht.

Zur mehrfaktoriellen Analyse wurde eine binär-logistische, schrittweise vorwärts gerechnete Regression verwendet. „An der Achillessehne betroffen/nicht betroffen“ wurde als abhängige Variable, Inklinationswinkel, Deviationswinkel, Arch-Index, Achillessehnenwinkeldifferenz, Gangwinkel, Abstand Malleolen,

Abstand Condylen und Laufleistung in Kilometer pro Woche als unabhängige Variablen definiert. Eine ausreichende Modellanpassung wurde mit Hilfe des Homer-Lemshow-Tests überprüft. Nagelkerkes R^2 gibt die erklärte Varianz an. Die Odd Ratios (OR) geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Variable einen Einfluss auf das Eintreffen des Ereignisses hat (OR = 1: Chance bleibt gleich; OR > 1: Chance steigt). Liegen beide Grenzen des Konfidenzintervalls (CI) über oder unter 1 handelt es sich um eine gut erklärende Variable.

Das Signifikanzniveau wurde bei 5% festgelegt. Es wurde jeweils zweiseitig auf Signifikanz geprüft.

ERGEBNISSE

Von 307 Probanden waren 69% bereits an der unteren Extremität verletzt. Achillessehnenbeschwerden machten 15% der insgesamt 664 Überlastungsfolgen aus. Männer waren mit 18% signifikant häufiger betroffen als Frauen mit 8% ($p = < 0,001$).

Tabelle 2 zeigt alle Ergebnisse der signifikanten Parameter. Männer liefen hochsignifikant mehr als Frauen. Personen mit Achillessehnenbeschwerden (PmAS) liefen mehr als Personen ohne Achillessehnenbeschwerden (PoAS). Das gleiche Bild zeigte sich bei den männlichen PmAS im Vergleich zu den männlichen PoAS. Die gelaufenen Kilometer der weiblichen PmAS zeigten im Vergleich zu den weiblichen PoAS keinen signifikanten Unterschied.

43% aller Probanden hatten einen Normalfuß, 35% einen Hohlfuß und 22% einen Plattfuß. PmAS zeigten tendenziell häufiger einen Hohlfuß (42%) als PoAS (36%; $p = 0,054$; $d = 0,3$).

Der Deviationswinkel der Frauen war signifikant geringer als derjenige der Männer. Der mittlere Deviationswinkel der PmAS war signifikant größer als derjenige der PoAS. Der mittlere Deviationswinkel der männlichen PmAS war 6° größer als bei männlichen PoAS und der mittlere Deviationswinkel weiblicher PmAS war 5° größer als der DW weiblicher PoAS.

Als signifikante Einflussfaktoren zeigten sich bei der binär-logistischen Regression der Deviationswinkel, die gelaufene Strecke pro Woche und der Gangwinkel. Lediglich das Vertrauensintervall des Deviationswinkels lag mit beiden Grenzen über 1. Die erklärte Varianz des Modells lag bei 11,4% (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2: Mittelwerte der Gesamtstichprobe aller Personen ohne und mit Achillessehnenbeschwerden für folgende Parameter: Inklinationswinkels (IW), Deviationswinkels (DW), wöchentliche Laufdistanz (Distanz), Achillessehnenwinkeldifferenz ($\Delta\beta$) und Gangwinkel (GW). Die Parameter IW, DW, $\Delta\beta$ und GW wurden bilateral erfasst.

		IW [°]	DW [°]	Distanz [km/W]	$\Delta\beta$ [°]	GW [°]	N
Gesamtstichprobe	Gesamt	42 ± 16	11 ± 23	32 ± 25	3,7 ± 2,4	7,4 ± 4,6	307
	Männlich	41 ± 161	13 ± 233	34 ± 287	3,6 ± 2,5	8,3 ± 4,712	218
	Weiblich	45 ± 171	6 ± 223	26 ± 207	3,9 ± 2,5	6,1 ± 4,412	89
Achillessehnenbeschwerden	Gesamt	44 ± 16	18 ± 235	44 ± 259	3,7 ± 2,2	7,7 ± 5,0	95
	Männlich	43 ± 15	18 ± 226	47 ± 258,10	3,5 ± 2,011	8,8 ± 4,712	80
	Weiblich	44 ± 18	15 ± 29	31 ± 188	4,9 ± 2,711	4,4 ± 4,012	15
Unverletzt	Gesamt	42 ± 17	10 ± 235	29 ± 249	3,7 ± 2,4	7,5 ± 4,7	212
	Männlich	40 ± 162	12 ± 234,6	29 ± 2610	3,7 ± 2,4	8,2 ± 4,7	138
	Weiblich	45 ± 172	5 ± 214	28 ± 21	3,8 ± 2,4	6,2 ± 4,3	74
logistische Regression	OR (CI)	nicht ins finale Modell integriert	1,016 (1,004 - 1,027)	1,02 (0,001 - 4,629)	1,024 (0,925 - 1,144)	1,062 (0,845 - 1,066)	
	p-Wert		0,006	<0,001	0,665	0,034	

Berechnete Odds-Ratios (OR) mit 95 % Vertrauensintervall (CI) der binär logistischen Regression mit den integrierten unabhängigen Variablen DW, Distanz, AI, $\Delta\beta$, GW, AC und AM. (p-Werte und Effektstärken des t-Tests für unabhängige Stichproben der Mittelwertvergleiche von 1: $p=0,006$ $d=0,3$ 2: $p<0,001$ $d=0,3$ 3: $p<0,001$ $d=0,3$ 4: $p<0,001$ $d=0,3$ 5: $p=0,002$ $d=0,3$ 6: $p=0,034$ $d=0,3$ 7: $p=0,015$ $d=0,3$ 8: $p=0,02$ $d=0,7$ 9: $p<0,001$ $d=0,6$ 10: $p<0,001$ $d=0,7$ 11: $p=0,021$ $d=0,6$ 12: $p<0,001$ $d=0,5$).

DISKUSSION

Das Ziel dieser Studie war es, potentielle Risikofaktoren von Achillessehnenbeschwerden bei Sportarten mit hoher Laufbelastung aufzuklären. Einfaktoriell zeigt sich die Lage der subtalaren Gelenkachse (STA) als ein signifikanter Einflussfaktor. In der mehrfaktoriellen Analyse zeigte sich der Deviationswinkel der STA ebenso wie die wöchentlich gelaufene Distanz und der Gangwinkel als signifikant beeinflussender Faktor.

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Aussage mehrerer Autoren, dass Frauen seltener Achillessehnenbeschwerden entwickeln als Männer (6,18). Der geringere Trainingsumfang der Frauen könnte mit der reduzierten Verletzungshäufigkeit in Zusammenhang stehen (17). Allerdings fanden sich in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede in der Laufdistanz bei betroffenen Frauen und nicht betroffenen Frauen. Bei Männern unterscheidet sie sich signifikant zwischen den Gruppen. Die Laufdistanz alleine scheint also nicht zur Entstehung von Achillessehnenbeschwerden zu führen. Vielmehr deutet sich an, dass anatomische Faktoren in Kombination mit einer entsprechenden Belastung zu Überlastungen der Achillessehne führen könnten.

Die Lage der STA unterscheidet sich signifikant bei Athleten mit und ohne Achillessehnenbeschwerden in laufbetonten Sportarten. Das wird noch durch den geschlechtsspezifischen Unterschied des Deviationswinkels unterstrichen. Möglicherweise führt ein größerer Deviationswinkel beim Laufen zu asymmetrischen Belastungen in der Achillessehne, indem die Sehne durch einen größeren Abstand zur Rotationsachse eine vermehrte Peitschenbewegung durchführt

(vgl. Abb.1C) oder die Sehne in ihrem Verlauf bei der Abrollbewegung vermehrt verdreht wird. Asymmetrische Zugkräfte werden in der Literatur häufig als verletzungsauslösend diskutiert (2,25).

Es konnte nur tendenziell ein Zusammenhang zwischen der Fußform und Achillessehnenbeschwerden gezeigt werden. Diese Ergebnisse stimmen mit den Folgerungen von Lohrer (22) überein.

Bei der Regressionsanalyse deutet das Vertrauensintervall darauf hin, dass der Gangwinkel und die Laufdistanz deutlich weniger Einfluss zu haben scheinen als der Deviationswinkel. Auch dieser scheint multivariat einen weniger großen Einfluss zu haben, als durch den deutlichen und signifikanten Mittelwertunterschied angenommen. Die hier identifizierten Faktoren erklären das mehrfaktorielle Problem der Entstehung von Achillessehnenbeschwerden möglicherweise nur zu einem Teil. In weiteren Studien muss überprüft werden, welche anatomischen Parameter zusätzlichen und möglicherweise auch potenziierenden Einfluss haben könnten.

Der Vorteil des zugrundeliegenden Studiendesigns liegt in der geringen Komplexität und der Anwendbarkeit bei großen Fallzahlen. Kritisch ist insbesondere bei der 2D-Videoanalyse und der Bewegungsanalyse die Messgenauigkeit zu sehen. Die wesentliche Einschränkung lag in einer schwer reproduzierbaren Bewegungsausführung. Messwiederholungen und konsequenter Ausschluss bei zu großer Standardabweichung sichern aber zumindest tendenzielle Aussagen. Durch eine 3D-Videoanalyse (10) und eine MRT-basierten Erfassung der STA kann die Messgenauigkeit erhöht werden, was aber die Komplexität und die Kosten so deutlich erhöhen würde, dass keine großen Fallzahlen erfasst werden könnten. In dieser Studie wurde die Toleranz gegen Messunsicherheiten zugunsten einer geringeren Komplexität und einer großen Stichprobe erhöht.

Erstmals wurde die STA in Zusammenhang mit Überlastungsfolgen gebracht und der Deviationswinkel konnte als möglicher Einflussfaktor identifiziert werden. Folglich sollte die Relevanz der subtalaren Gelenkachse in vielen Bereichen, wie der Schuh- und Einlagenversorgung, der Planung therapeutischer Maßnahmen oder sogar der OP-Planung, überdacht werden. In weiteren Studien muss untersucht werden, ob und inwiefern Schuh- und Einlagenversorgungen beziehungsweise gezieltes Training den negativen Einfluss eines großen Deviationswinkels beeinflussen und möglicherweise sogar präventiv Achillessehnenbeschwerden entgegen wirken können.

Danksagung

Die Studie wurde durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert. Das verwendete Messverfahren wurde von Harald Hoch-

wald im Rahmen seiner Dissertation (2006) an der Universität Stuttgart entwickelt.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. ALT WW: Biomechanische Aspekte der Gelenkstabilisierung. C. Maurer-Verlag, Geislingen (Steige), 2001.
2. ARNDT A, BRUGGEMANN GP, KOEBKE J, SEGESSER B: Asymmetrical loading of the human triceps surae: I. Mediolateral force differences in the Achilles tendon. *Foot Ankle Int* 20 (1999) 444-449.
3. BRINCKMANN P: The angle of gait (author's transl). *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 119 (1981) 445-448.
4. CAVANAGH PR, RODGERS MM: The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech* 20 (1987) 547-551.
5. CHEN TM, ROZEN WM, PAN WR, ASHTON MW, RICHARDSON MD, TAYLOR GI: The arterial anatomy of the Achilles tendon: anatomical study and clinical implications. *Clin Anat* 22 (2009) 377-385.
6. CLEMENT DB, TAUNTON JE, SMART GW: Achilles tendinitis and peritendinitis: etiology and treatment. *Am J Sports Med* 12 (1984) 179-184.
7. COHEN J: A power primer. *Psychological Bulletin* 112 (1992) 155-159.
8. FIELDS KB, SYKES JC, WALKER KM, JACKSON JC: Prevention of running injuries. *Curr Sports Med Rep* 9 (2010) 176-182.
9. GOTO A, MORITOMO H, ITOHARA T, WATANABE T, SUGAMOTO K: Three-dimensional in vivo kinematics of the subtalar joint during dorsi-planar flexion and inversion-eversion. *Foot Ankle Int* 30 (2009) 432-438.
10. GRAU S, MÜLLER O, BÄURLE W ET AL.: Grenzen und Möglichkeiten der 2D-Videoanalyse in der Bewertung physiologischer und pathologischer Abrollvorgänge des Fußes bei Läufern. *Sportverletz Sportschaden* 14 (2000) 107-114.
11. GUSTAFSSON B: Pronationswinkel des Rückfußes in Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit und der Fußstellung. *Orthopädieschuhtechnik* 7 (2000) 32-40.
12. HINTERMANN B, HOLZACH P: Sub-Achilles bursitis-a biomechanical analysis and clinical study. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 130 (1992) 114-119.
13. HINTERMANN B, NIGG BM: Pronation in runners. Implications for injuries. *Sports Med* 26 (1998) 169-176.
14. ISMAN RE: anthropometric studies of the human foot and ankle. bulletin of prosthetics research spring (1969) 97-129.
15. JAMES SL, BATES BT, OSTERNIG LR: Injuries to runners. *Am J Sports Med* 6 (1978) 40-50.
16. JONES RL: The functional significance of the declination of the axis of the subtalar joint. *Anat Rec* 93 (1945) 151-159.
17. KADER D, SAXENA A, MOVIN T, MAFFULLI N: Achilles tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management. *Br J Sports Med* 36 (2002) 239-249.
18. KANNUS P, JOZSA L, NATRI A, JARVINEN M: Effects of training, immobilization and remobilization on tendons. *Scand J Med Sci Sports* 7 (1997) 67-71.
19. KUJALA UM, OSTERMAN K, KVIST M, AALTO T, FRIBERG O: Factors predisposing to patellar chondropathy and patellar apicitis in athletes. *Int Orthop* 10 (1986) 195-200.
20. LEUNG AK, CHENG JC, ZHANG M, FAN Y, DONG X: Contact force ratio: a new parameter to assess foot arch function. *Prosthet Orthot Int* 28 (2004) 167-174.
21. LEWIS GS, COHEN TL, SEISLER AR, KIRBY KA, SHEEHAN FT, PIAZZA SJ: In vivo tests of an improved method for functional location of the subtalar joint axis. *J Biomech* 42 (2009) 146-151.
22. LOHRER H: Die Achillodynie - Eine Übersicht. *Orthopädieschuhtechnik* 7 (2006) 35-41.
23. LUN V, MEEUWISSE WH, STERGIOU P, STEFANYSHYN D: Relation between running injury and static lower limb alignment in recreational runners. *Br J Sports Med* 38 (2004) 576-580.
24. MAYER F, GRAU S, BAUR H, HIRSCHMÜLLER A, HORSTMANN T, GOLLHOFER A, DICKHUTH HH: Verletzungen und Beschwerden im Laufsport. *Deutsches Ärzteblatt* 19 (2001) 1254-1259.
25. MAYER F, GRAU SB: Achillessehnenbeschwerden im Laufsport – eine aktuelle Übersicht. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 51 (2000) 161-167.
26. MCCLAY I, BRAY J: The subtalar angle: a proposed measure of rearfoot structure. *Foot Ankle Int* 17 (1996) 499-502.
27. NIGG BM, SEGESSER B: The running shoe-a means of preventing running complaints. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 124 (1986) 765-771.
28. RAZEGHI M, BATT ME: Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture* 15 (2002) 282-291.
29. REULE CA: Das subtalare Gelenk als Risikofaktor – Der Einfluss der subtalaren Gelenkachse und der Fußanatomie auf die Entstehung von Überlastungsfolgen der unteren Extremität. svh-Verlag, Saarbrücken, 2010.
30. ROSENBAUM D, HAUTMANN S, GOLD M, CLAES L: effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture* 2 (1994) 191-197.
31. RYAN M, GRAU S, KRAUSS I, MAIWALD C, TAUNTON J, HORSTMANN T: Kinematic analysis of runners with achilles mid-portion tendinopathy. *Foot Ankle Int* 30 (2009) 1190-1195.
32. SEGESSER B, NIGG BM: Tibial insertion tendinosis, achillodynia, and damage due to overuse of the foot-etiology, biomechanics, therapy. *Orthopade* 9 (1980) 207-214.
33. SONG J, HILLSTROM HJ, SECORD D, LEVITT J: Foot type biomechanics. comparison of planus and rectus foot types. *J Am Podiatr Med Assoc* 86 (1996) 16-23.
34. TAUNTON JE, RYAN MB, CLEMENT DB, MCKENZIE DC, LLOYD-SMITH DR, ZUMBO BD: A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run "In Training" clinics. *Br J Sports Med* 37 (2003) 239-244.
35. VAN GINCKEL A, THIJS Y, HESAR NG ET AL.: Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: a prospective study. *Gait Posture* 29 (2009) 387-391.
36. WALLENBOCK E, LANG O, LUGNER P, VAN GINCKEL A, THIJS Y, HESAR NG, MAHIEU N, DE CLERCQ D, ROOSEN P, WITVROUWA E: Stress in the Achilles tendon during a topple-over movement in the ankle joint. *J Biomech* 28 (1995) 1091-1101.

Korrespondenzadresse:

Dr. Claudia Anita Reule

Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft

Universität Stuttgart

Allmandring 28

70569 Stuttgart

E-Mail: claudia.reule@inspo.uni-stuttgart.de