

Hirschmüller A, Baur H, Müller S, Mayer F

## Quantifizierung der Kraftfähigkeiten und der neuromuskulären Effizienz bei Gesunden und Läufern mit chronischen Achillessehnenbeschwerden

*Quantification of strength capacities and neuromuscular efficiency in healthy runners and runners with Achilles tendon complaints*

Abteilung Rehabilitative und Präventive Sportmedizin, Medizinische Klinik, Universitätsklinikum Freiburg

### Zusammenfassung

Veränderungen der neuromuskulären Regulation mit der Folge reduzierter Kraftfähigkeiten werden ursächlich mit Beschwerden des Muskel-Sehnen-Apparates in Verbindung gebracht. Ziel der Studie war, Unterschiede der Kraftleistungsfähigkeit in Abhängigkeit der muskulären Aktivierung bei Läufern mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO) darzustellen. Über die Definition des Quotienten  $\epsilon_{\text{dyn}}$  sollte die dynamische neuromuskuläre Effizienz erfasst werden.

Bei 92 Läufern wurden die maximalen exzentrischen (Ecc 60°/s) und konzentrischen (Con 60°/s) Drehmomente (DM) der Plantarflexion (PF) und Dorsalextension (DE) des Sprunggelenks gemessen. Parallel dazu fand eine Amplitudenanalyse (MVC-normalisiert,  $A_{\text{EMG}}$ ) der Mm. tibialis anterior (TA), gastrocnemii (GL und GM) und soleus (SOL) statt (ANOVA,  $\alpha=0,05$ ).  $\epsilon_{\text{dyn}}$  wurde definiert als intraindividueller Quotient aus DM und  $A_{\text{EMG}}$ .

Die Patienten zeigten bei PF, nicht jedoch bei DE, geringere DM für Con und Ecc ( $p<0,05$ ) sowie eine höhere  $A_{\text{EMG}}$  in GM, GL und SOL ( $p<0,01$ ). Für  $\epsilon_{\text{dyn}}$  ergaben sich in PF höhere Werte für CO gegenüber AT.

Läufer mit AT weisen trotz geringerer Kraftleistungsfähigkeit eine höhere Aktivierung der Arbeitsmuskulatur auf. Die geringere Effizienz ausgedrückt durch die neue Größe  $\epsilon_{\text{dyn}}$ , könnte als Ausdruck einer alterierten neuromuskulären Kontrolle verstanden die Wirksamkeit von sensomotorischem Training bei Sehnenbeschwerden erklären.

**Schlüsselwörter:** Kraft, Drehmoment, Achillessehne, Elektromyographie, neuromuskuläre Effizienz

### Einleitung

Achillessehnenbeschwerden sind nach wie vor eines der häufigsten chronischen Krankheitsbilder bei Leistungssportlern, insbesondere bei Langstreckenläufern (11, 20, 27). Trotz intensiver Forschung der letzten Jahre sind Ätiologie, Pathophysiologie und wirksame konservative Therapieformen des komplexen Krankheitsgeschehens nach wie vor nicht abschließend geklärt (21, 25).

Bei der multifaktoriellen Ätiologie werden verminderter absolute Kraftfähigkeiten und muskuläre Dysbalancen als für die Beschwerdeentstehung mitentscheidend angesehen (3, 22, 25). Haglund-Akerlind und Ericsson (11) fan-

### Summary

Changes in neuromuscular regulation with resultant reduction in strength capacity are causally associated with complaints of the muscle-tendon apparatus. This study was designed to depict possible differences in strength performance capacity in dependence on muscular activation pattern between runners with chronic Achilles tendon complaints (AT) and healthy runners (CO). The dynamic neuromuscular efficiency was to be recorded by defining a quotient  $\epsilon_{\text{dyn}}$ .

The maximum eccentric (Ecc, 60°/s) and concentric (Con 60°/s) torques (DM) of plantar flexion (PF) and dorsal extension (DE) were determined in the ankles of 92 runners (AT n=72; CO, n=20). In parallel, an amplitude analysis (MVC-normalized,  $A_{\text{EMG}}$ ) was made of the Mm. tibialis anterior (TA), gastrocnemii (GL and GM) and soleus (SOL) (ANOVA,  $\alpha=0.05$ ). An intraindividual quotient  $\epsilon_{\text{dyn}}$  of DM and  $A_{\text{EMG}}$  was defined. The patients showed lower DM in PF, unlike in DE, at Con and Ecc ( $p<0.05$ ) and higher  $A_{\text{EMG}}$  in GM, GL and SOL ( $p<0.01$ ). For  $\epsilon_{\text{dyn}}$  there were higher PF values for CO compared to AT.

Discussion: AT-runners show higher activation of the exercised musculature, despite lower strength performance capacity. The newly-defined quantity  $\epsilon_{\text{dyn}}$  can be applied as a useful measure for assessing dynamic neuromuscular efficiency. Lower neuromuscular efficiency, as an expression of uncoordinated neuromuscular control, could explain the efficacy of sensorimotor training in tendon complaints.

**Key words:** Strength, Achilles tendonitis, torque, electromyography, neuromuscular efficiency

den bei Läufern, die anamnestisch Achillessehnenbeschwerden angaben, im Vergleich zu gesunden Läufern signifikant niedrigere Drehmomente bei exzentrischer Arbeitsweise der Wadenmuskulatur. Bei konzentrischem Modus konnten sie hingegen keine Unterschiede nachweisen. McCrory et al. (20) untersuchten signifikante Differenzierungsmerkmale zwischen Läufern mit unilateraler, nichtinsertionaler Tendinose der Achillessehne und gesunden Läufern und zeigten statistisch signifikante Unterschiede, unter anderem im maximalen Drehmoment der Plantarflexion im OSG mit 180°/sec und der Dorsalextension mit 60°/sec, während sich das maximale Drehmoment der Plantarflexion mit 60°/sec nicht signifi-

kant unterschied. Zusätzlich konnten sie zeigen, dass diese verminderten Kraftfähigkeiten für das verletzte und das gesunde Bein gleichermaßen nachzuweisen waren. Alfredson et al. (4) stellten bei Achillessehnenpatienten im akuten Zustand hingegen signifikante Unterschiede im Drehmoment zwischen gesundem und krankem Bein fest, die sich nach 3 Monaten Therapie nicht mehr nachweisen ließen. Eine gesunde Vergleichsgruppe wurde jedoch in dieser Untersuchung nicht gemessen.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probanden: Laufalter=Trainingsjahre

	AT	CO
Alter	39,4 (±6,3)	28,7 (±7,9)
Größe	178,2 (±5,7)	180,6 (±6,1)
Gewicht	74,0 (±7,9)	72,7 (±9,6)
Laufalter	13,8 (±8,7)	8,2 (±4,6)
km/Wo	49,6 (±5,2)	37,0(±12,7)

Die unterschiedlichen, unsystematisch eingesetzten Therapieansätze wurden bis dato unzureichend in randomisierten, kontrollierten Studien evaluiert (21, 25). McLauchlan et al. (21) und Almekinders et al. (6) folgern in ihren Cochrane-Reviews zur Therapie akuter und chronischer Achillessehnenbeschwerden bzw. Sehnenbeschwerden im Allgemeinen, dass derzeit eine nur insuffiziente Evidenz bezüglich der Wirksamkeit der unterschiedlichen Therapieformen festzustellen ist. In den letzten Jahren wird der Verbesserung der Kraftfähigkeiten ein zunehmend größerer Stellenwert eingeräumt (5, 25). Insbesondere exzentrisches Krafttraining scheint therapeutisch vielversprechend zu sein (2, 13, 18, 23, 28). Niessen-Vertommen et al. (23) zeigten eine größere Schmerzminderung bei exzentrischem Krafttraining im Vergleich zu konzentrischem. Erste Ergebnisse mit „heavy load eccentric calf muscle training“ im Rahmen einer prospektiven Studie von Alfredson et al. (3), konnten in einer randomisierten Multicenterstudie bestätigt werden (18). Hierbei zeigten die Autoren auch, dass ein exzentrisches Trainingsprogramm zu einem besseren klinischen Outcome führt als konzentrisches Training. Einschränkend ist anzumerken, dass das Follow-up jeweils nur 3 Monate betrug. Silbernagel et al. (28) beobachteten die Patienten nach randomisierter Gruppenzuweisung über einen Zeitraum von 12 Monaten. Sie berichten ebenfalls über eine im Vergleich zu der Kontrollgruppe größere Schmerzreduktion in der Gruppe, die ein exzentrisches Trainingsprogramm absolvierte.

Bei alledem ist jedoch unklar, ob dieser sowohl kausale als auch therapeutische Einfluss veränderter Kraftfähigkeiten pathogenetisch in erster Linie einer muskulären Atrophie, veränderten neuromuskulären Regulationsmechanismen oder einer Kombination der beiden zuzuschreiben sind. Ziele der Studie waren somit, zunächst mögliche Unterschiede der konzentrischen und exzentrischen Kraftleistungsfähigkeiten zwischen Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO) darzustellen. Über die parallele Erfassung der muskulären Aktivierung sollten zusätzlich mögliche neuromuskuläre Unterschiede und deren Einfluss auf die Kraftleistungsfähigkeiten erfasst werden. Darüber hinaus wurde über die Definition des Quotienten  $\epsilon_{\text{dyn}}$  versucht, die dynamische neuromuskuläre Effizienz zu quantifizieren.

## Material und Methoden

Probanden: 92 männliche Läufer mit einem individuellen Trainingsumfang von über 32 Kilometern pro Woche wurden in die Studie eingeschlossen. Die Studienteilnahme erfolgte freiwillig und nach schriftlicher Aufklärung. Die Patientengruppe umfasste 72 Läufer mit chronischen, unilateralen, nichtinsertionalen, bisher unbehandelten Achillessehnenbeschwerden (AT n=72); die Kontrollgruppe umfasste 20 beschwerdefreie Läufer (CO n=20). Die Einschlusskriterien waren: Trainingsumfang von über 32km pro Woche, Alter zwischen 18 und 50 Jahren, keine Voroperationen an den unteren Extremitäten oder der LWS, keine aktuellen klinischen Symptome an der unteren Extremität und der LWS mit Ausnahme der Achillessehnenbeschwerden in der Patientengruppe. Vor Studieneinschluss wurden alle Patienten von einem unabhängigen Prüfarzt orthopädisch untersucht und unterschrieben eine mit der Ethikkommission der Universität abgestimmte Einverständniserklärung. Die aus Tabelle 1 ersichtlichen anthropometrischen Daten wurden in den vorab erstellten Case Report Forms dokumentiert.

Messungen: Nach einer ca. 10-minütigen Aufwärmphase auf dem Laufband wurde zunächst das individuelle Bewegungsausmaß beider Sprunggelenke auf einem isokinetischen Kraftmessgerät (LIDO-ACTIVE, Loredan Inc.) getestet und anschließend nach mehreren Probeversuchen die maximalen konzentrischen (Con) und exzen-

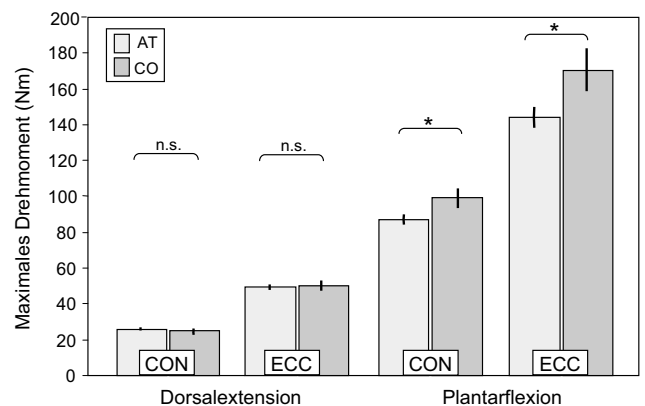


Abbildung 1: Mittelwert und 95 % Konfidenzintervall der maximalen Sprunggelenksdrehmomente bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO) für die konzentrische (CON) und exzentrische (ECC) Dorsalextension und Plantarflexion (n.s.: nicht signifikant, \*: p<0,05)

trischen (Ecc) Drehmomente (DM) der Plantarflexion (PF) und Dorsalextension (DE) beider Sprunggelenke gemessen (60°/Sekunde, Bewegungsausmaß 50°). Von den jeweils 5 zyklisch ausgeführten Bewegungen wurden die 3 besten Versuche ausgewählt und die maximalen Drehmomente gemittelt. Parallel dazu fand die bilaterale Ableitung der elektromyographischen Aktivität der Mm. tibialis anterior (TA), gastrocnemius medialis und lateralis (GL und GM) und soleus (SOL) statt. Die Registrierung der Rohsignale erfolgte mit einer Aufzeichnungsfrequenz von 1000 Hz mittels bipolar angebrachten Oberflächenelektroden. In

Neutral-Null-Stellung wurden im Faserverlauf der entsprechenden Muskelgruppen nach dem von Winter und Yack 1987 angegebenen Schema im Abstand von 2 cm Elektroden (MEDICOTEST, „blue sensor“ P-00-S) auf den Muskelbauch aufgeklebt und eine Referenzelektrode auf der Patella angebracht (31). Zur besseren Fixierung der Elektroden und zur Reduktion von Störsignalen wurde die Haut vor dem Anbringen rasiert, gereinigt, mit feinem Schmirgelpapier aufgeraut, von losen Epithelien befreit sowie der kutane Fettsfilm mit Alkohol entfernt. Nach der anschließenden Messung des Hautwiderstandes wurde dieses Verfahren bei einem Wert >5 kOhm wiederholt, da ein Wert <5kOhm als Voraussetzung für die Durchführung der Messung definiert wurde. Vor jeder Messung wurden die Signale der zu untersuchenden Muskeln getestet und ein Nullabgleich durchgeführt. Die Prozessierung der Rohdaten erfolgte durch Gleichrichtung (Full Wave Rectification; 31) und Glättung der Signale (Root Mean Square, 50ms; 7, 8) sowie durch Normalisierung auf die EMG-Amplitude einer maximalen willkürlichen Kontraktion (MVC; 7, 19). Zur Ermittlung dieser MVC-Werte wurden maximale isometrische Kontraktionen bei 4 verschiedenen Winkelstellungen durchgeführt (30°PF, 15°PF, 0°, 15°DE) und die EMG-Amplitude der Bewegung mit dem höchsten Drehmoment zur Berechnung extrahiert. Nach Signalbearbeitung erfolgte eine Mittelung von drei Bewegungszyklen zu einem Ensemble Average (19, 31).

Die neu definierte Messgröße  $\epsilon_{dyn}$  - berechnet als intraindividuellem Quotient aus dem maximalen Drehmoment und der normalisierten Amplitude der entsprechenden Muskeln - sollte als Maß der neuromuskulären Effizienz in dynamischen Bewegungen dienen. Das maximale Drehmoment der Plantarflexion wurde hierbei zur Aktivierung der Plantarflexoren M. gastrocnemius medialis, lateralis und soleus, das der Dorsalextension zur Aktivierung des Fußhebers M. tibialis anterior ins Verhältnis gesetzt. Nachstehende Abbildung zeigt die Formel und die abgeleiteten Messgrößen:

$$\epsilon_{dyn} = \frac{DM}{A_{EMG}}$$

- $\epsilon_{dyn\_pf\_gm}$  (DM bei PF, Aktivierung des M. gastrocnemius medialis)
- $\epsilon_{dyn\_pf\_gl}$  (DM bei PF, Aktivierung des M. gastrocnemius lateralis)
- $\epsilon_{dyn\_pf\_sol}$  (DM bei PF, Aktivierung des M. soleus)
- $\epsilon_{dyn\_pf\_ta}$  (DM bei DE, Aktivierung des M. tibialis anterior)

### Statistik

Die anthropometrischen Daten wurden aus den Case Report Forms in eine Datenbank eingegeben und später auf einem Ausdruck manuell überprüft. Alle ausgewerteten Daten wurden anhand eines Range-checks auf ihre Plausibilität analysiert, ausreißende Werte bis zu den Rohdaten zurückverfolgt und gegebenenfalls neu berechnet. Für eine zusätzliche Überprüfung der Plausibilität wurden stichprobenweise 10 % der Werte der Originaldaten neu berechnet und mit den Einträgen in der Datenbank verg-

lichen. Mehr als 95 % der Werte mussten dabei übereinstimmend berechnet sein. Generelle Drop-outs wurden nicht verzeichnet.

Die statistische Auswertung erfolgte zunächst deskriptiv mittels Darstellung des Mittelwertes und des 95 % Konfidenzintervalls. Im Rahmen der hypothesenprüfenden Auswertung erfolgte die Überprüfung auf statistische Signifikanz mittels univariater, multifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA, JMP statistical software) auf dem zweiseitigen Signifikanzniveau von 5 % ( $\alpha=0,05$ ). Die Mittelwertdifferenzen zwischen den Gruppen wurden anschließend mit dem Post hoc-Test nach Tukey-Kramer ebenfalls auf einem Signifikanzniveau von 5 % getestet.

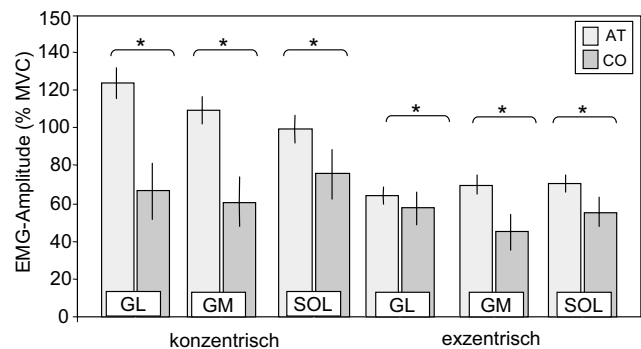


Abbildung 2: Mittelwert und 95 % Konfidenzintervall der MVC-normalisierten EMG-Amplituden der Mm. gastrocnemii lateralis (GL) und medialis (GM) und des M. soleus (SOL) für die konzentrische und exzentrische Plantarflexion bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO). \*:  $p < 0,05$

## Ergebnisse

### Kraftfähigkeiten

In der Plantarflexion fanden sich geringere Drehmomente bei den Achillessehnenpatienten sowohl bei exzentrischer als auch bei konzentrischer Arbeitsweise ( $p < 0,05$ ; Abb. 1). Hingegen konnten bei der Dorsalextension keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden ( $p > 0,05$ ; Abb. 1). Ebenso wurden in keiner der Testsituationen (PF, DE, Con, Ecc) Unterschiede zwischen den beiden Beinen festgestellt. Dies gilt für die gesunde Vergleichsgruppe und die Patientengruppe gleichermaßen, d.h. die Drehmomente des verletzten Beines bei den Patienten unterschieden sich nicht signifikant vom gesunden Bein ( $p > 0,05$ ). In den Abbildungen wurden daher stets beide Beine zusammengefasst. Exzentrisch werden in beiden Gruppen höhere Drehmomente gefunden als konzentrisch. Diese sind außerdem bei Plantarflexion deutlich höher als bei Dorsalextension ( $p < 0,05$ ; Abb. 1).

### Elektromyographie

Die auf die maximale isometrische Kontraktion normalisierten Amplituden der dynamischen Bewegungen unterscheiden sich analog zu den Drehmomenten lediglich in der Plantarflexion. Hier finden sich bei den Läufern mit chronischen Achillessehnenbeschwerden in allen Plantar-

flexorenmuskeln (GM, GM, SOL) höhere Amplituden bei beiden Bedingungen ( $p < 0,05$ , Abb. 2). Bei Dorsalextension konnten für den M. tibialis anterior keine Gruppenunterschiede gefunden werden ( $p > 0,05$ ; Abb. 3). Beindifferenzen lassen sich ebenfalls nicht nachweisen. Die EMG Amplituden sind bei konzentrischer Arbeitsweise höher als bei exzentrischer (Abb. 2, 3). Dies ist in der Patientengruppe deutlich stärker ausgeprägt als in der Kontrollgruppe.

## Quotient $\epsilon_{\text{dyn}}$

Die Berechnung des Quotienten zur Quantifizierung der neuromuskulären Effizienz ergab in der Plantarflexion für GM, GL und SOL statistisch signifikant niedrigere Werte in der Patientengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $p < 0,01$ ; Abb. 4). Die Effizienz scheint hier bei den Patienten geringer zu sein. In der Dorsalextension finden

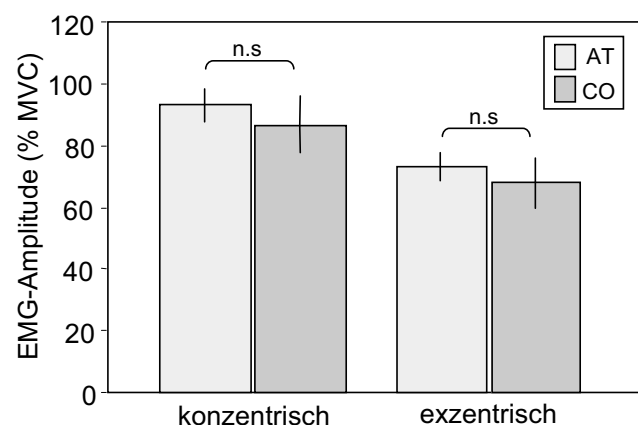


Abbildung 3: Mittelwert und 95 % Konfidenzintervall der MVC-normalisierten EMG-Amplitude des M. tibialis anterior (TA) für die konzentrische und exzentrische Dorsalextension bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO). n.s.: nicht signifikant

sich die Unterschiede wiederum nicht (TA;  $p > 0,05$ ; Abb.5). Bei exzentrischer Belastung sind die berechneten Quotienten deutlich größer als bei konzentrischer sowohl bei Dorsalextension als auch bei Plantarflexion (Abb. 4, 5).

## Zusammenfassung und Diskussion

Veränderungen der Kraftfähigkeiten bei Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden und deren therapeutische Beeinflussung durch exzentrisches Krafttraining traten in den letzten Jahren zunehmend in das Interesse klinischer Forschung. Es konnte gezeigt werden, dass exzentrisches Krafttraining einen viel versprechenden Ansatz in der komplexen Therapie dieses Krankheitsbildes darstellt (3, 18, 23, 28). Der Einfluss neuromuskulärer Regulationsmechanismen blieb dabei jedoch bisher weitgehend unbeachtet. Das Ziel der vorliegenden Studie war daher, neben der Erfassung konzentrischer und exzentrischer Kraftfähigkeiten, durch die simultane Registrierung elektromyographischer Aktivierungsmuster eine Aussage über die wechselseitige Beeinflussung von muskulärer Aktivierung und absoluten Kraftfähigkeiten zu treffen. Über die Definition des Quotienten  $\epsilon_{\text{dyn}}$  aus

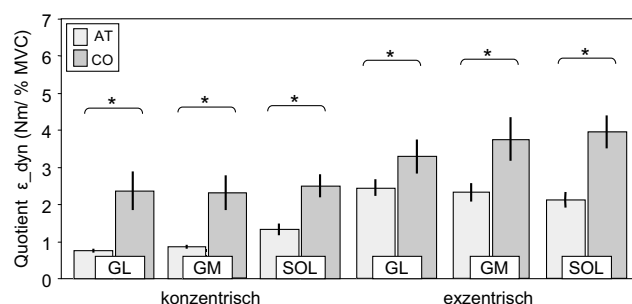


Abbildung 4: Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Quotienten  $\epsilon_{\text{dyn}}$  für die Mm. gastrocnemii lateralis (GL) und medialis (GM) und den M. soleus (SOL) bei konzentrischer und exzentrischer Plantarflexion von Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO). \*:  $p < 0,05$

Drehmoment und muskulärer Aktivierung wurde darüber hinaus versucht, dieses Zusammenspiel im Sinne einer neuromuskulären Effizienz zu quantifizieren.

Die Ergebnisse zeigten, dass Läufer mit chronischen Achillessehnenbeschwerden geringere Drehmomente der Plantarflexion aufweisen als gesunde Läufer. Dies unterstützt die Ergebnisse von McCrory et al. (20), die das maximale Drehmoment bei 180 Winkelgrad pro Sekunde als ein signifikantes Differenzierungsmerkmal zwischen Läufern mit Achillessehnenbeschwerden und gesunden Läufern identifizierten. Haglund-Akerlind und Eriksson (11) fanden bei Läufern mit Achillessehnenproblemen ebenfalls signifikant geringere Drehmomente der Plantarflexoren bei exzentrischer Arbeitsweise. Konzentrisch fanden sie jedoch keine Unterschiede. Analog zu McCrory et al. (22) zeigten sich diese verminderten Kraftfähigkeiten für das verletzte und das gesunde Bein gleichermaßen. Einschränkend ist festzuhalten, dass das Durchschnittsalter der Probanden der Kontrollgruppe 10 Jahre unter dem der Achillessehnenpatienten lag, was zunächst den Schluss einer altersbedingten Verminderung der Kraftfähigkeiten nahe legt. Aus den folgenden Gründen ist dies jedoch als Erklärung der Gruppenunterschiede höchstwahrscheinlich nicht ausreichend. Die Angaben in der Literatur wann der Alterungsprozess der Muskulatur und des neuromuskulären Systems einsetzt variieren zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr, während die Veränderungen darunter geringen Ausmaßes oder gar nicht vorhanden zu sein scheinen (12, 30). So schreibt Häkkinen „human muscle strength reaches its peak between the ages of 20-30 years after which time it remains unchanged or slightly decreases for more than 20 years“ (12). Vandervoort beschreibt eine Abnahme der Muskelkraft bei isometrischer Kontraktion ab dem 60. Lebensjahr: „...age in the 40s and 50s involves some slowing of contraction but changes in the absolute muscle strength are minor until about the sixth decade of life“ (12). Eine altersbedingte Drehmomentsdifferenz von 10-20 % erscheint somit bei einem mittleren Alter unter 40 Jahren sehr unwahrscheinlich. Desweiteren konnten Unterschiede in der vorliegenden Studie nur für die Plantarflexion gefunden werden. Die Dorsalextension ist nicht betroffen, was – geht man von einem generellen Alterungsprozess aus – ebenfalls nicht zu erwarten wäre.

Trotz geringeren Kraftfähigkeiten bei Plantarflexion fand sich eine höhere - auf die MVC normalisierte - muskuläre Aktivierung der Wadenmuskulatur. Der berechnete Quotient  $\epsilon_{\text{dyn}}$  ergab für die Plantarflexion statistisch signifikant geringere Werte in der Patientengruppe. Für die Dorsalexention und den M. tibialis anterior konnten hingegen wiederum in keiner der gemessenen Größen statistisch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Läufer mit Achillessehnenbeschwerden scheinen also nicht nur in der absoluten Kraft der für die Pathologie entscheidenden Bewegung Defizite gegenüber Gesunden aufzuweisen. Auch die Ansteuerung der entsprechenden

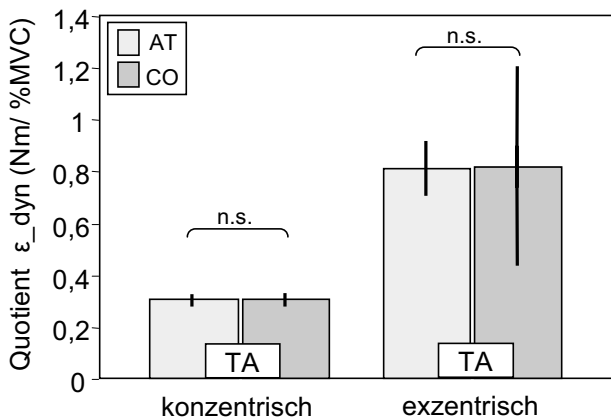


Abbildung 5: Mittelwert und 95 % Konfidenzintervall des Quotienten  $\epsilon_{\text{dyn}}$  für den M. tibialis anterior (TA) bei konzentrischer und exzentrischer Dorsalexention von Patienten mit chronischen Achillessehnenbeschwerden (AT) und Gesunden (CO). n.s.: nicht signifikant

Arbeitsmuskulatur ist im Vergleich zu Gesunden verändert. Die höhere Ansteuerung der Arbeitsmuskulatur bei dynamischer Bewegung könnte als Hinweis auf eine höhere Beanspruchung der neuromuskulären Bewegungskontrolle gedeutet werden. Daraus könnte weiter geschlossen werden, dass eine alterierte neuromuskuläre Koordination möglicherweise bereits bei der Pathogenese der Kraftminderung und der konsekutiven Beschwerdentstehung eine Rolle gespielt hat. In diesem Fall spräche der fehlende Beinunterschied in der Patientengruppe ebenfalls für die pathogenetische Bedeutsamkeit der verminderten neuromuskulären Effizienz, denn die Defizite scheinen nicht auf die verletzte Extremität im Sinne einer „Schonhaltung“ beschränkt zu sein, sondern in übergeordneten Zentren zu liegen und somit beide Extremitäten gleichermaßen zu beeinflussen. Dies unterstützt auch die bekannte Tatsache, dass die von den chronischen Sehnenpathologien betroffenen Läufer im Laufe der Zeit häufig bilaterale Beschwerden aufweisen (1, 10). Aus den vorliegenden Ergebnissen kann weiterhin geschlossen werden, dass sensomotorisches Training, das zusätzlich zur Verbesserung der Kraftfähigkeiten auch die veränderte neuromuskuläre Ansteuerung berücksichtigt, das Krankheitsbild präventiv und therapeutisch positiv beeinflussen könnte.

Der neu definierte Quotient  $\epsilon_{\text{dyn}}$  scheint hierbei mit einigen Einschränkungen ein sinnvolles Maß zur Beurteilung der neuromuskulären Effizienz zu sein. Allerdings

wird beispielsweise die Quantifizierung der EMG-Amplitude unter nicht stationären Bedingungen kritisch diskutiert. Der Einfluss der maximalen isometrischen Kontraktion, die durch die Normalisierung in die Berechnung des Quotienten eingeht, ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen. Eine bezüglich aller Qualitäten veränderte neuromuskuläre Ansteuerung der Muskulatur kann durch diese Normalisierung verschleiert werden. Bei der Interpretation ist es aus dem Wert des Quotienten allein ebenfalls nicht möglich die Ursache eines eventuell detektierten Unterschiedes zu erkennen, da sowohl Unterschiede im Drehmoment als auch in der EMG-Aktivität bei isometrischer oder zyklischer Bewegungsausführung in die Berechnung eingehen.

Es konnte gezeigt werden, dass eine Differenzierung von Gesunden und Patienten mit Sehnenbeschwerden im Gruppenvergleich anhand des Quotienten möglich ist. Von der Möglichkeit einer diagnostischen Erkennung von Patienten im Einzelfall ist bislang allerdings nicht auszugehen. Das Ziel anderer Studien sollte jedoch sein, weitere viel versprechende Messgrößen zu identifizieren, so dass vielleicht durch eine Kombination verschiedener Messgrößen in Zukunft eine Einzelfalldiagnose möglich wird. Beeinflussung der Sehnenbeschwerden und Veränderungen des Quotienten durch sensomotorisches Training sollten ebenfalls in weiteren prospektiven, randomisierten klinischen Studien überprüft werden.

## Literatur

1. Aroen A, Helgo D, Granlund OG, Bahr R: Contralateral tendon rupture risk is increased in individuals with a previous Achilles tendon rupture. *Scand J Med Sci Sports* 14 (2004) 30-33.
2. Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P, Lorentzon R: Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic achilles tendinosis. *Am J Sports Med* 26 (1998) 360-366.
3. Alfredson H, Pietilä T, Öhberg L, Lorentzon R: Achilles tendinosis and calf muscle strength. *Am J Sports Med* 26 (1998) 166-71.
4. Alfredson H, Nordstrom P, Pietila T, Lorentzon R: Bone mass in the calcaneus after heavy loaded eccentric calf-muscle training in recreational athletes with chronic achilles tendinosis. *Calcif Tissue Int* 64 (1999) 450-455.
5. Alfredson H, Lorentzon R: Chronic Achilles tendinosis: recommendations for treatment and prevention. *Sports Med* 29 (2000) 135-146.
6. Almekinders LC, Temple JD: Etiology, diagnosis, and treatment of tendonitis: an analysis of the literature. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (1998) 1183-1190.
7. Burden A, Bartlett R: Normalisation of EMG amplitude: an evaluation and comparison of old and new methods. *Med Eng Phys* 21 (1999) 247-257.
8. Croce RV, Miller JP, St Pierre P: Effect of ankle position fixation on peak torque and electromyographic activity of the knee flexors and extensors. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 40 (2000) 365-373.
9. Duri ZA, Aichroth PM, Wilkins R, Jones J: Patellar tendonitis and anterior knee pain. *Am J Knee Surg* 12 (1999) 99-108.
10. Fahlstrom M, Jonsson P, Lorentzon R, Alfredson H: Chronic Achilles tendon pain treated with eccentric calf-muscle training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11 (2003) 327-333.
11. Haglund-Akerlind Y, Eriksson E: Range of motion, muscle torque and training habits in runners with and without Achilles tendon problems. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1 (1993) 195-199.
12. Häkkinen K: Aging and neuromuscular adaptations to strength training, in: Komi P (Hrsg.): *Strength and power in sports*. Blackwell science Ltd Oxford, 2003, 409-427.
13. Humble RN, Nugent LL: Achilles tendonitis. An overview and reconditioning model. *Clin Podiatr Med Surg* 18 (2001) 233-254.

14. *Kvist M*: Achilles tendon injuries in Athletes. *Sports Med* 18 (1994) 173-201.
15. *Maffulli N, Binfield PM, Moore D, King JB*: Surgical decompression of chronic central core lesions of the Achilles tendon. *Am J Sports Med* 27 (1999) 747-752.
16. *Maffulli N, Kenward MG, Testa V, Capasso G, Regjine R, King JB*: Clinical diagnosis of Achilles tendinopathy with tendinosis. *Clin J Sport Med* 13 (2003) 11-15.
17. *Maffulli N, Testa V, Capasso G, Bifulco G, Binfield PM*: Results of percutaneous longitudinal tenotomy for achilles tendinopathy in middle- and long-distance runners. *Am J Sports Med* 25 (1997) 835-840.
18. *Mafi N, Lorentzon R, Alfredson H*: Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 9 (2001) 42-47.
19. *Mayer F, Bilow H, Horstmann T, Martini F, Niess A, Röcker K, Dickhuth H-H*: Muscle fatigue maximum strength and stress reactions of the shoulder musculature in paraplegics. *Int J Sports Med* 20 (1999) 487-493.
20. *McCrary JL, Martin DF, Lowery RB, Cannon DW, Curl WW, Read HM JR, Hunter DM, Craven T, Messier SP*: Etiologic factors associated with Achilles tendinitis in runners. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 1374-1381.
21. *McLauchlan GJ, Handoll HH*: Interventions for treating acute and chronic Achilles tendinitis. *Cochrane Database Syst Rev* 2 (2001) CD000232.
22. *Nichols AW*: Achilles tendinitis in running athletes. *J Am Board Fam Pract* 2 (1989) 196-203.
23. *Niesen-Vertommen SL, Taunton JE, Clement DB, Mosher RE*: The effect of eccentric versus concentric exercise in the management of Achilles tendinitis. *Clin J Sports Med* 2 (1992) 109-113.
24. *Paavola M, Kannus P, Jarvinen TA, Khan K, Jozsa L, Jarvinen M*: Achilles tendinopathy. *J Bone Joint Surg Am* 84 (2002) 2062-2076.
25. *Paavola M, Kannus P, Paakkala T, Pasanen M, Jarvinen M*: Long-term prognosis of patients with achilles tendinopathy. An observational 8-year follow-up study. *Am J Sports Med* 28 (2000) 634-642.
26. *Sandmeier R, Renstrom PA*: Diagnosis and treatment of chronic tendon disorders in sports. *Scand J Med Sci Sports* 7 (1997) 96-106.
27. *Schepisis AA, Jones H, Haas AL*: Achilles tendon disorders in athletes. *Am J Sports Med* 30 (2002) 287-305.
28. *Silbernagel KG, Thomee R, Thomee P, Karlsson J*: 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* 11 (2001) 197-206.
29. *Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD*: A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med* 36 (2002) 95-101.
30. *Vandervoort A*: Aging of the human neuromuscular system. *Muscle nerve* 25 (2002) 17-25.
31. *Winter DA, Yack JH*: EMG profiles during normal human walking: stride-to-stride and inter-subject variability. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 67 (1987) 402-411.
32. *Yang S, Alnaqeeb M, Simpson H, Goldspink G*: Changes in muscle fibre type, muscle mass and IGF-1 gene expression in rabbit skeletal muscle subjected to stretch. *J Anat* 190 (1997) 613-622.

**Korrespondenzadresse:**

**Dr. med. Anja Hirschmüller**

**Abteilung für Rehabilitative und Präventive Sportmedizin**

**Medizinische Klinik**

**Universitätsklinikum Freiburg**

**Hugstetter Straße 55**

**79106 Freiburg**

**E-mail: hirschmueller@msm1.ukl.uni-freiburg.de**