

## **Ermüdungszeichen des M. gastrocnemius und M. tibialis anterior bei mehrstündiger Steh- und Gehexposition**

Valerie DIETER, Rudolf WALL, Oliwia LIPS, Robert SEIBT, Monika A. RIEGER,  
Benjamin STEINHILBER

*Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung,  
Universitätsklinikum Tübingen  
Wilhelmstraße 27, D-72074 Tübingen*

**Kurzfassung:** Langes berufsbedingtes Stehen wird von einigen Autoren mit dem Auftreten muskulärer Ermüdung in den unteren Extremitäten assoziiert. Unter bestimmten Voraussetzungen gilt die Muskelermüdung, beispielsweise bedingt durch Daueraktivierung einzelner Muskelfaseranteile, als Risikofaktor für die Entstehung von Muskel-Skelett-Erkrankungen. Ziel der Studie war es daher zu untersuchen, ob es in Folge einer 275-minütigen Steh- oder Gehexposition zu Zeichen muskulärer Ermüdung im M. gastrocnemius und M. tibialis anterior der unteren Extremität kommt. Zur Identifizierung von Ermüdungszeichen wurde das Oberflächen-Elektromyogramm (OEMG) dieser beiden Muskeln während einer 20-sekündigen isometrischen Muskelkontraktion mit geringer Kraft am Sprunggelenk in Plantarflexion und Dorsalextension erfasst. Dabei wurden 20 männliche Probanden aus zwei Altersgruppen zu drei Messzeitpunkten untersucht: vor (M1), nach 110 min (M2) und 275 min (M3) der jeweiligen Exposition. Über die normalisierten OEMG-Kenngrößen elektrische Aktivität und Medianfrequenz konnten die Mediandifferenzen zu den Zeitpunkten M2 und M3 in Bezug zur Baseline (M1) berechnet werden. Diese wurden anschließend mit dem sogenannten „Joint Analysis of Spectrum and Amplitude“-Verfahren interpretiert. Die Auswertung konnte keine Ermüdung des M. gastrocnemius und M. tibialis anterior zu den Messzeitpunkten M2 und M3 bei der isometrischen Muskelkontraktion zeigen. Es waren auch keine Unterschiede zwischen der Steh- und Gehexposition sowie den Altersgruppen erkennbar. Andere Studien zum Thema Steharbeit stellten dagegen meist eindeutige Ermüdungszeichen in den unteren Extremitäten nach langem Stehen fest. Unterschiede in der verwendeten Methodik zur Ermüdungsanalyse könnten eine Erklärung für diese Diskrepanz sein.

**Schlüsselwörter:** Muskelermüdung, Low-Frequency Fatigue, Oberflächen-Elektromyographie, Steharbeit

### **1. Hintergrund**

Verkaufspersonal, Fließbandarbeiter oder Gesundheitspflegepersonal – sie alle sind an ihrem Arbeitsplatz dauerhaftem Stehen ausgesetzt (O'Neill, R., 2005). Dieses Stehen ist häufig durch längere Perioden mit intermittierenden Kontraktionen auf einem niedrigen Kraftlevel gekennzeichnet (Sogaard, K. et al., 2003) und wird mit dem Auftreten muskulärer Ermüdung in den unteren Extremitäten assoziiert (Halim, I. et al., 2012). Typischerweise sind bei Tätigkeiten auf niedrigem Kraftniveau nur ein

Teil der Muskelfasern aktiv, die sogenannten Cinderella-Fasern. Bei Daueraktivierung kann es trotz niedriger Muskelaktivität zu einer metabolischen Überlastung und Schädigung in diesen Fasern kommen (Hägg, G., 1991). Dahinter stecken homöostatische Störungen, die unter dem Begriff Low-Frequency Fatigue (LFF) zusammengefasst werden (Edwards, R. H. et al., 1977; Jones, D. A., 1996). In der Folge gilt diese spezielle Form der Muskelermüdung als wesentlicher Risikofaktor für die Entstehung von Muskel-Skelett-Erkrankungen (Armstrong, T. J. et al., 1993). Diesen Zusammenhang konnten beispielsweise auch D'Souza, Franzblau und Werner (2005) in ihrem Review bezüglich langer Steharbeit und Beschwerden im Sprunggelenk und Fuß feststellen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es deshalb herauszufinden, ob es in Folge einer 275-minütigen Steh- oder Gehexposition zu Zeichen muskulärer Ermüdung im M. gastrocnemius und M. tibialis anterior kommt.

## 2. Methoden

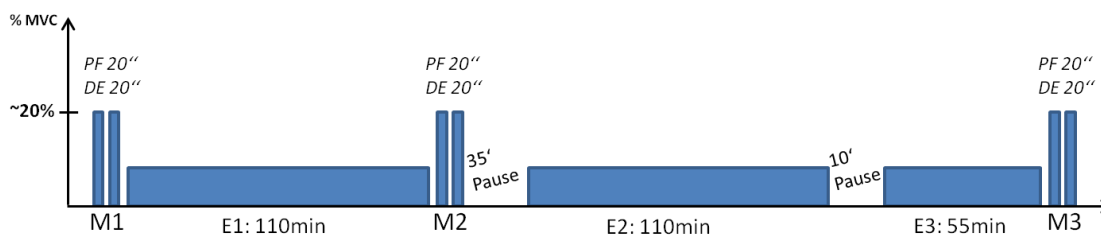
Um mögliche Ermüdungszeichen in den beiden untersuchten Muskeln M. gastrocnemius und M. tibialis anterior zu identifizieren, wurde ein Testaufbau der isometrischen Muskelkontraktion mit geringer Kraft verwendet. Dabei wurde das Oberflächen-Elektromyogramm (OEMG) abgeleitet. Es wird angenommen, dass bei einer derartigen Muskelkontraktion vor allem jene Muskelfasern aktiviert werden, die auch während der Exposition (Stehen oder Gehen) aktiv sind. Eine Ermüdung dieser Muskelfasern bzw. Muskelfaseranteile infolge der Exposition, kann bei diesem Vorgehen identifiziert werden (Blangsted, A. K. et al., 2005).

### 2.1 Probanden

Es wurden 20 männliche Probanden an 2 verschiedenen Messtagen untersucht. Davon gehörten 10 Personen einer jüngeren Versuchsgruppe (VG<sub>jüngere</sub>, Ø 25 Jahre) und 10 weitere einer älteren Versuchsgruppe (VG<sub>ältere</sub>, Ø 52 Jahre) an.

### 2.2 Testablauf

An den beiden Messtagen wurden die Probanden einer 275-minütigen Steh- oder Gehexposition (randomisierte Reihenfolge) zuzüglich Pausen ausgesetzt. Insgesamt gab es drei Messzeitpunkte: vor Expositionsbeginn (Messung 1 (M1)), nach 110 min (Messung 2 (M2)) und 275 min (Messung 3 (M3)) des Stehens bzw. Gehens (siehe Abbildung 1). Die standardisierte, isometrische Muskelkontraktion wurde pro Messung für je 20 s am Sprunggelenk in Plantarflexion (PF) und Dorsalextension (DE) durchgeführt. Die Muskelkontraktionen wurden durch ein definiertes Zielmoment standardisiert. In PF betrug das zu erbringende Moment 22,5 Nm, in DE waren es 15 Nm. Diese Momente wurden in Vorversuchen bestimmt und bewegten sich in einem Bereich von etwa 20 % der Maximalkraft (MVC), was für jeden Probanden einfach zu realisieren ist, ohne dass motivationale Aspekte, wie sie bei sehr hohen Kräfteleistungen eine Rolle spielen, störend wirken könnten.



**Abbildung 1:** Dargestellt ist der Versuchsaufbau der Untersuchung. Es gab drei Expositionsphasen (E1-E3) mit dazwischenliegenden Pausen. Die Messung (M) der isometrischen Muskelkontraktion erfolgte vor Expositionsbeginn (M1), nach 110 min (M2) und 275 min (M3) des Stehen/Gehen. Pro Messung wurde sie für jeweils 20 s in Plantarflexion (PF) und Dorsalextension (DE) durchgeführt.

### 2.3 Auswertung

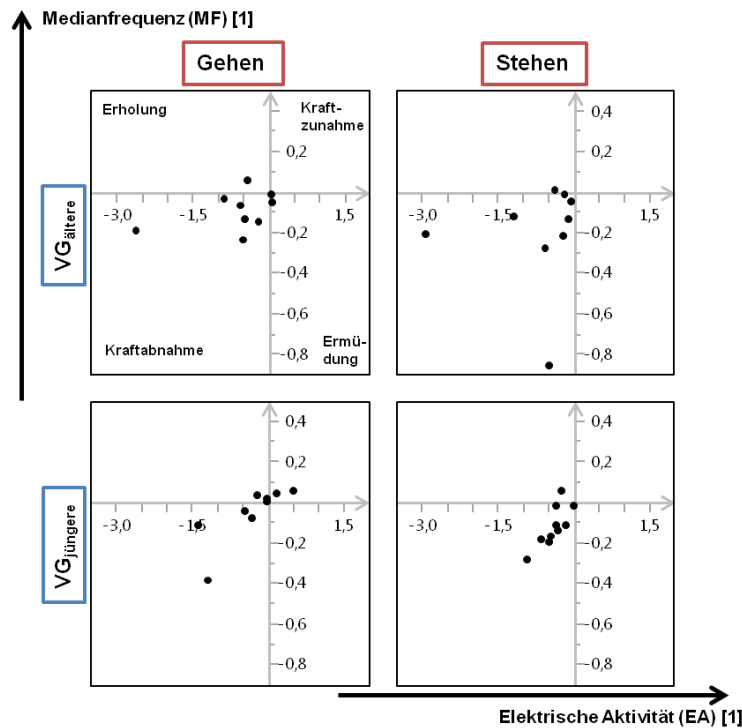
Die Muskelaktivität wurde mittels bipolarer OEMG am M. gastrocnemius (Caput mediale) und M. tibialis anterior abgeleitet. Aus den OEMG-Rohdaten wurden die Kenngrößen elektrische Aktivität (EA) und Medianfrequenz (MF) berechnet und anschließend auf den Medianwert von M2 der jeweiligen Kenngröße normalisiert. Unterschiede zur Ausgangssituation vor einer jeweiligen Exposition wurden durch Differenzen der Medianwerte (M2-M1 und M3-M1) quantifiziert. Die Interpretation der aufbereiteten Daten erfolgte schließlich mit dem sogenannten „Joint Analysis of Spectrum and Amplitude“ (JASA)-Verfahren. Mit Hilfe dieser zweifaktoriellen Analyse konnten gleichzeitige Änderungen der EA und MF (Wertepaar) in vier Kategorien eingeteilt werden: Erholung, Ermüdung, Kraftzunahme und Kraftabnahme.

## 3. Ergebnisse

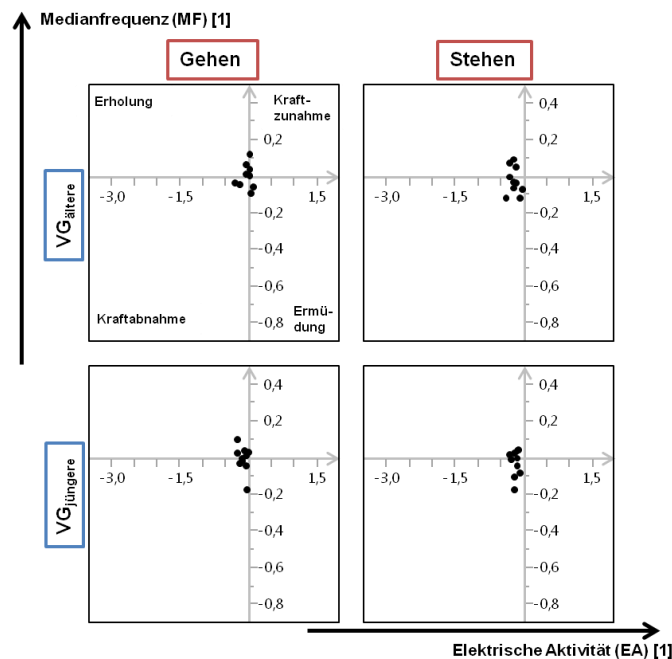
Die Auswertung nach dem JASA-Verfahren zeigte keine Zeichen von Ermüdung des M. gastrocnemius und M. tibialis anterior zu den Zeitpunkten M2 und M3. Insgesamt 78 % der Wertepaare für die Differenz von M2 zu M1 und 86 % der Wertepaare für die Differenz von M3 zu M1 (siehe Abbildung 2 und 3) sind in den beiden linken Quadranten der Grafiken wiederzufinden. Nach JASA kam es demnach zu einer Kraftabnahme bzw. Erholung in der Muskulatur. Die Ergebnisse können bei der Steh- und Gehexposition gleichermaßen beobachtet werden. Unterschiede zwischen der jüngeren und älteren Versuchsgruppe waren ebenfalls nicht erkennbar.

## 4. Diskussion

Entgegen der oben beschriebenen Ergebnisse, stellten andere Studien meist eindeutige Ermüdungszeichen in den unteren Extremitäten bei Steharbeit fest (Balasubramanian, V. et al., 2009; Garcia, M. G. et al., 2015). Möglicherweise spielt dabei die verwendete Methode zur Quantifizierung von Ermüdungszeichen eine entscheidende Rolle. Teilweise wurden andere objektive und technisch anspruchsvolle Messverfahren verwendet, teilweise lediglich subjektive Angaben der Probanden eingesetzt. Auch ist nicht auszuschließen, dass es bei der hier verwendeten Methodik mit einer wiederholt standardisierten, isometrischen Muskelkontraktion zu Lerneffekten bei der Durchführung kam. Womöglich wurde so eine scheinbare Erholung bzw. Kraftabnahme durch Ökonomisierung herbeigeführt.



**Abbildung 2:** Mediandifferenz Messung 3 – Messung 1 (M3-M1) im „Joint Analysis of Spectrum and Amplitude“ (JASA)-Verfahren des *M. gastrocnemius*. Die Wertepaare setzen sich jeweils aus der Mediandifferenz M3-M1 der elektrischen Aktivität (EA) (x-Achse) und Medianfrequenz (MF) (y-Achse) zusammen. Sie sind getrennt nach den Expositionstagen Gehen und Stehen (vertikale Spalten) und den Versuchsgruppen VG<sub>ältere</sub> und VG<sub>jüngere</sub> (horizontale Zeilen) dargestellt. Jede der vier Grafiken ist dabei in vier Quadranten unterteilt: Erholung, Ermüdung, Kraftzunahme und Kraftabnahme.



**Abbildung 3:** Mediandifferenz Messung 3 – Messung 1 (M3-M1) im „Joint Analysis of Spectrum and Amplitude“ (JASA)-Verfahren des *M. tibialis anterior*. Die Ergebnisse sind analog zur Abbildung 2 des *M. gastrocnemius* dargestellt.

Denkbar ist zudem, dass das hier verwendete Kraftniveau bei der isometrischen Muskelkontraktion mit etwa 20 % MVC zu hoch angesetzt war. Eventuell wurden so Zeichen muskulärer Ermüdung in Muskelfasern kleinerer motorischer Einheiten, die bereits während den Steh- und Gehphasen aktiv waren, durch die Aktivierung und Kontraktion von Muskelfasern größerer motorischer Einheiten überdeckt. Hintergrund dessen ist das sogenannte Low-Frequency-Fatigue-Prinzip. Vorausblickend auf weiterführende Studien zum Thema sollte deshalb in Betracht gezogen werden, ähnlich dem Vorbild von Blangsted et al. (2005), ein Kraftniveau von lediglich 5-10 % MVC zu verwenden.

## 5. Literatur

- Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Hagberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., . . . Viikari-Juntura, E. R. (1993). A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*(2), 73-84. doi: 10.5271/sjweh.1494
- Balasubramanian, V., Adalarasu, K., & Regulapati, R. (2009). Comparing dynamic and stationary standing postures in an assembly task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(5), 649-654. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2008.10.017>
- Blangsted, A. K., Sjogaard, G., Madeleine, P., Olsen, H. B., & Sogaard, K. (2005). Voluntary low-force contraction elicits prolonged low-frequency fatigue and changes in surface electromyography and mechanomyography. *J Electromyogr Kinesiol*, 15(2), 138-148. doi: 10.1016/j.jelekin.2004.10.004
- D'Souza, J. C., Franzblau, A., & Werner, R. A. (2005). Review of epidemiologic studies on occupational factors and lower extremity musculoskeletal and vascular disorders and symptoms. *J Occup Rehabil*, 15(2), 129-165.
- Edwards, R. H., Hill, D. K., Jones, D. A., & Merton, P. A. (1977). Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *J Physiol*, 272(3), 769-778.
- Garcia, M. G., Laubli, T., & Martin, B. J. (2015). Long-Term Muscle Fatigue After Standing Work. *Hum Factors*, 57(7), 1162-1173. doi: 10.1177/0018720815590293
- Hägg, G. (1991). Static work loads and occupational myalgia—a new explanation model. *Electromyographical kinesiology*, 9, 141-144.
- Halim, I., Omar, A. R., Saman, A. M., & Othman, I. (2012). Assessment of muscle fatigue associated with prolonged standing in the workplace. *Saf Health Work*, 3(1), 31-42. doi: 10.5491/shaw.2012.3.1.31
- Jones, D. A. (1996). High-and low-frequency fatigue revisited. *Acta Physiol Scand*, 156(3), 265-270. doi: 10.1046/j.1365-201X.1996.192000.x
- O'Neill, R. (2005). Standing problem. Retrieved 25 July, 2016, from <http://www.hazards.org/standing/>
- Sogaard, K., Blangsted, A. K., Jorgensen, L. V., Madeleine, P., & Sjogaard, G. (2003). Evidence of long term muscle fatigue following prolonged intermittent contractions based on mechano- and electromyograms. *J Electromyogr Kinesiol*, 13(5), 441-450.

**Danksagung:** Das Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen, erhält eine institutionelle Förderung durch den Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e.V. (Südwestmetall).



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)