

Aus der Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten  
(Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Michael Jünger)  
der Universitätsmedizin der Universität Greifswald

**Einfluss von Bewegung und Kompressionsstrümpfen auf  
das Volumen und die Missempfindungen der Unterschenkel bei  
gesunden Probanden mit Stehbelastung**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Medizin  
(Dr. med.)

der

Universitätsmedizin

der

Universität Greifswald

2022

vorgelegt von: Florian Junge  
geb. am: 23.05.1995  
in: Greifswald

Dekan: Herr Prof. Dr. med. Karlhans Endlich  
1. Gutachter: Herr Prof. Dr. med. Michael Jünger  
2. Gutachterin: Frau Prof. Dr. med. Kornelia Böhler  
Ort, Raum: Greifswald, Universitätsmedizin,  
Seminarraum Innere Medizin A  
Tag der Disputation: 07.03.2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Einführung in die Thematik .....	1
1.2 Ziele der Arbeit .....	2
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>3</b>
2.1 Studiendesign .....	3
2.2 Patientenkollektiv .....	3
2.3 Screening-Visite.....	3
2.4 Ablauf des Experiments und der Messungen .....	4
2.5 Optisches dreidimensionales Volumenmesssystem zur Bestimmung des Volumens der Unterschenkel .....	5
2.6 Statistik.....	6
2.7 Kompressionsmaterialien .....	7
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>8</b>
3.1 Änderung des Unterschenkelvolumens .....	8
3.2 Änderungen der Missempfindungen .....	8
3.3 Änderungen des Bewegungsdrangs .....	9
3.4 Korrelationen zwischen Zunahme des Unterschenkelvolumens und Änderung der Missempfindungen und des Bewegungsdrangs .....	10
3.5 Einfluss der MKS auf Unterschenkelvolumen, Missempfindungen und Bewegungsdrang .....	11

3.6 Zusammenhang zwischen Zunahme des Unterschenkelvolumens und Änderung der Missempfindungen oder des Bewegungsdrangs .....	11
<b>4 Diskussion.....</b>	<b>13</b>
<b>5 Fazit.....</b>	<b>16</b>
<b>6 Zusammenfassung .....</b>	<b>17</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>19</b>
<b>8 Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>VI</b>
<b>9 Danksagung.....</b>	<b>VII</b>

## Abkürzungsverzeichnis

NRS	Nummerische Rating-Skala
MKS	Medizinische Kompressionsstrümpfe
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
s	Sekunden
°C	Grad-Celsius
min	Minuten
LED	Lichtemittierende Diode
nm	Nanometer
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
ID	Identifikation
l	Liter
ml	Milliliter
°	Grad
%	Prozent
bzw.	Beziehungsweise

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Versuchsablauf der Stehbelastung für 15 min mit einer einstudierten Bewegung der Beine am Ende des Versuchs.....	5
Abbildung 2 - Darstellung der mittleren Änderung des Unterschenkelvolumens mit und ohne MKS während einer Stehbelastung von 15 min .....	8
Abbildung 3 - Darstellung der mittleren Änderung der Missempfindungen mit und ohne MKS während einer Stehbelastung von 15 min .....	9
Abbildung 4 - Darstellung der mittleren Änderung des Bewegungsdrangs mit und ohne MKS während einer Stehbelastung von 15 min .....	9
Abbildung 5 - Boxplot der individuellen Korrelationen des Unterschenkelvolumens mit den Missempfindungen und dem Bewegungsdrang während eines orthostatischen Stehversuchs von 15 min .....	10
Abbildung 6 - Boxplot der individuellen Korrelationen des Unterschenkelvolumens mit den Missempfindungen und dem Bewegungsdrang mit MKS während eines orthostatischen Stehversuchs von 15 min.....	11

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 - Lineare gemischte Modelle mit den abhängigen Variablen: Missempfindungen und Bewegungsdrang .....	12
--	----

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

Viele Menschen in Deutschland verrichten ihre tägliche Arbeit teilweise oder gänzlich in stehender Position. Laut einer Umfrage des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales aus dem Jahr 2018 trifft das auf 53,5 % der Erwerbstätigen in Deutschland zu (1). Blazek et al. konnten in einer Studie herausfinden, dass diese Art zu arbeiten mit starken Beschwerden für die untersuchten Berufstätigen verbunden ist. Sie zeigten, dass die Probanden während und nach der Arbeit im Stehen vor allem mit Schwellungen und Missempfindungen in den Beinen zu kämpfen hatten (2). Auch einige andere Autoren konnten bereits nachweisen, dass eine Stehbelastung zu einem Anstieg des Unterschenkelvolumens und der Missempfindungen der Probanden führt (3–5). Erklären lassen sich die Ödeme unter anderem durch Mikrozirkulationsstörungen im Kapillarbett, welche durch fehlende Bewegung in den Beinen verbunden mit einer mangelnden Aktivierung der „Muskelpumpe“ ausgelöst werden. Dabei kommt es zu einer venösen Druckerhöhung in den Beinen. Nach der Starling-Gleichung verschiebt sich hierbei in den Kapillaren der Beine das Gleichgewicht zugunsten der Filtration über die Gefäßbarriere in den Extravasalraum. Das führt zu einer verminderten Rückresorption von Flüssigkeit aus dem Interstitium. Die Folge sind interstitielle Ödeme beim Stehen ohne Bewegung (6). Eine Möglichkeit sowohl gegen diese Volumenzunahme der Beine als auch gegen die Beschwerden vorzugehen ist das Tragen von Medizinischen Kompressionsstrümpfen (MKS) (7–9). Deshalb ist die Kompressionstherapie unter anderem auch für Menschen mit langer Stehbelastung während des Berufs von immer größerem Interesse (10). Blättler et al. fanden diesbezüglich heraus, dass eine Kompressionstherapie mit der Kompressionsklasse II (Anpressdruck: 23-32 mmHg) die Volumenzunahme und die Entstehung von Missempfindungen der Beine während einer zehnminütigen Stehbelastung signifikant verringerte (11). Agle et al. und Belczak et al. zeigten, dass die Kompressionstherapie die Ödeme am Abend eines Arbeitstages mit hoher Stehbelastung reduzierte (12,13). Die nachgewiesene Wirkung der MKS beruht auf einer Verkleinerung des Venenquerschnitts und einer Optimierung der Venenklappenfunktion. Dadurch wird der venöse und lymphatische Rückstrom der Beine optimiert und verstärkt. Der Nutzen ergibt sich aus der Reduktion und Prävention des Extremitätenödems (14). Neben MKS können aber auch einstudierte Bewegungen der Beine zu einer Verringerung des Orthostase bedingten Beinödems beitragen (15,16).



## **1.2 Ziele der Arbeit**

Die Untersuchung von orthostatischen Ödemen in Verbindung mit Missempfindungen in den Beinen stellt nach wie vor einen wichtigen Forschungsschwerpunkt dar, weil die Menschen mit den genannten Beschwerden oft einen hohen Leidensdruck verspüren (17). Ziel der durchgeführten Studie war es daher, den vorhandenen wissenschaftlichen Konsens zu der Thematik zu reevaluieren, sowie bis heute offene Probleme von Stehbelastungen zu untersuchen. Nicht abschließend geklärt ist bislang, ob es einen kausalen Zusammenhang zwischen einem Anstieg des Beinvolumens und einer Zunahme der Missempfindungen in den Beinen bei Stehbelastungen gibt. Fraglich ist außerdem, inwiefern bestimmte Bewegungen und die Aktivierung der Muskelpumpe Einfluss auf die Entstehung von Missempfindungen und Bewegungsdrang während der Stehbelastung nehmen. Deshalb wurden im Rahmen der beschriebenen Studie eine zeitlich begrenzte Stehbelastung durchgeführt. Die Probanden absolvierten die Versuche sowohl mit angezogenen MKS als auch ohne MKS. Der Anstieg des Unterschenkelvolumens und die Entstehung von Missempfindungen beziehungsweise Bewegungsdrang wurden dabei gemessen. Im zweiten Schritt wurde analysiert, ob zwischen dem Anstieg des Unterschenkelvolumens und der Zunahme von Missempfindungen oder Bewegungsdrang eine kausale Beziehung existiert. Ferner wurde der Einfluss von einstudierten Bewegungen der Beine und von Kompressionsmaterial auf die genannten Parameter untersucht.

## **2 Material und Methoden**

Die Methodik der durchgeführten Studie wird im Folgenden basierend auf den Inhalten der veröffentlichten Arbeiten von Junge et al. verkürzt wiedergegeben. Weitere Informationen finden sich in den Publikationen (18,19).

### **2.1 Studiendesign**

Die Studie wurde in der Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten der Universitätsmedizin Greifswald durchgeführt. Es handelt sich um eine nicht-randomisierte, kontrollierte Studie, an der fünfzehn venengesunde Probanden teilnahmen. Die Studie umfasste drei Visiten. Zunächst erschien jeder Proband zu einer Screening-Visite. An den nachfolgenden zwei Terminen wurden die verschiedenen Stehversuche durchgeführt. Alle Parameter wurden nur am rechten Bein gemessen.

Es erfolgte eine ethische Bewertung der Studie (Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Greifswald, BB 061/17). Sie wurde beim Deutschen Register für Klinische Studien unter der ID: DRKS00013066 registriert.

### **2.2 Patientenkollektiv**

Fünfzehn Teilnehmer mit einem Durchschnittsalter von 22,7 Jahren und einer Altersspanne von 20 bis 27 Jahren wurden in die Studie aufgenommen. Es handelte sich um acht männliche und sieben weibliche Probanden. Es wurden nur Probanden ohne venöse Vorerkrankungen und ohne Anzeichen von einer Schwellneigung der Beine, zum Beispiel im Rahmen eines Lymphödems, eingeschlossen. Alle eingeschlossenen Probanden waren in der Lage, an allen Phasen der Studie teilzunehmen.

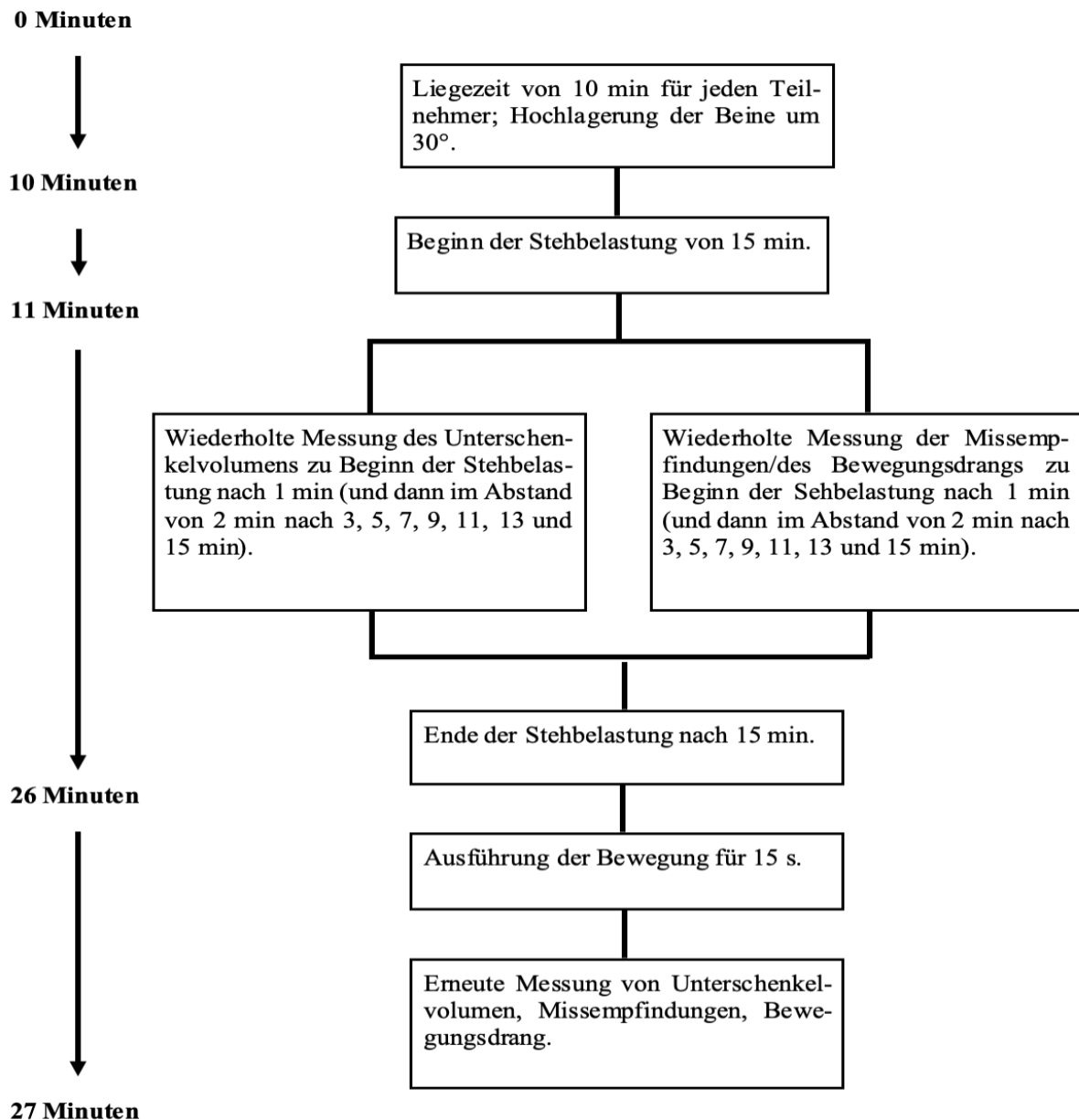
### **2.3 Screening-Visite**

Die Studienteilnehmer wurden ausführlich über den Ablauf der Studie und die von ihnen erhobenen Daten informiert. Das schriftliche Einverständnis zur Teilnahme wurde eingeholt. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden überprüft. Sie lassen sich in den veröffentlichten

Artikeln wiederfinden (18,19). Im Rahmen einer ärztlichen Untersuchung wurde eine Anamnese erhoben und der körperliche Status der Probanden untersucht, um venöse oder andere Vorerkrankungen auszuschließen. Als dynamischer Venenfunktionsstest wurde eine digitale Photoplethysmographie durchgeführt, um die Venengesundheit der Probanden sicherzustellen. Dabei mussten die Probanden jeweils eine venöse Wiederauffüllungszeit von  $> 25$  s erreichen, um in die Studie eingeschlossen zu werden. Ferner wurden die MKS für die Probanden angepasst.

## **2.4 Ablauf des Experiments und der Messungen**

Alle Messungen fanden zur gleichen Tageszeit, zwischen 10 Uhr und 14 Uhr, statt. Die standardisierte Raumtemperatur lag im Bereich von  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jedes Experiment begann mit einer Liegezeit von 10 min für jeden Teilnehmer. Die Beine wurden dabei um  $30\text{ }^{\circ}$  gegenüber der Horizontalen hochgelegt. Anschließend absolvierten die Probanden eine fünfzehnminütige Stehphase (Abb. 1). Die Probanden standen während des gesamten Testablaufs auf der rotierenden Plattform des Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Deutschland). Das Volumen der Unterschenkel wurde mit dem Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Deutschland) zu Beginn und dann in zweiminütigen Abständen gemessen. Alle Probanden wurden zu Beginn des Experiments und dann in zweiminütigen Abständen verbal nach ihren allgemeinen Missempfindungen in den Beinen und ihrem aktuellen Bewegungsdrang befragt, wofür eine numerische Rating-Skala (NRS) von null bis zehn verwendet wurde. Dabei bedeutete „null“ die Abwesenheit von Missempfindungen bzw. Bewegungsdrang und „zehn“ den höchsten Grad von Missempfindungen bzw. Bewegungsdrang. Unmittelbar nach der fünfzehnminütigen Stehbelastung führten die Probanden eine einstudierte Bewegung aus, um die Muskelpumpe der Beinmuskulatur zu aktivieren und damit den venösen Rückfluss zu verbessern (20). Bei dieser Bewegung wurde jedes Bein angehoben und gleichzeitig in den Hüft- und Kniegelenken bis zu einem Winkel von  $90\text{ }^{\circ}$  gebeugt. Mit dem Fuß des Schwungbeins erfolgte eine Dorsalexension. Zusätzlich führten die Probanden eine Plantarflexion auf dem Standbein aus. Die Bewegung erfolgte abwechselnd fünfmal mit jedem Bein. Dieser Bewegungsablauf dauerte 15 s. Unmittelbar nach der Bewegung des Probanden wurden zum letzten Mal das Unterschenkelvolumen, die Missempfindungen und der Bewegungsdrang gemessen. Den gleichen Versuchsablauf führten die Probanden an einem anderen Tag ein zweites Mal durch, während sie MKS trugen.



*Abbildung 1 - Versuchsablauf der Stehbelastung für 15 min mit einer einstudierten Bewegung der Beine am Ende des Versuchs.*

## 2.5 Optisches dreidimensionales Volumenmesssystem zur Bestimmung des Volumens der Unterschenkel

Zur Messung des Unterschenkelvolumens wurde das Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Deutschland) verwendet. Dieses Gerät verwendet ein Lichtgitter, um ein dreidimensionales Modell der Füße, Unter- und Oberschenkel der Versuchsperson zu erstellen.

Dazu werden Lichtstrahlen aus einer LED-Lichtquelle (Wellenlänge  $460 \pm 20$  nm) in Form von Streifen und Gittern auf die Haut der Beine der Testperson projiziert. Diese werden digital wieder eingelesen und von der Software zu einem dreidimensionalen Bild zusammengefügt. Die Versuchspersonen standen während der Messung auf einer rotierenden Plattform.

Der Teller der Plattform drehte sich innerhalb von ca. 50 s um  $360^\circ$  (21). An der rotierenden Platte war ein Handlauf angebracht, der sich gleichzeitig mitbewegte. Jeder Proband wurde gebeten, sich während der Messungen und der Stehbelastung daran festzuhalten. Die Position der Füße auf der Plattform wurde durch eine Markierung festgelegt. Die daraus resultierenden Daten wurden verwendet, um das Volumen der Beine der Probanden während der Stehbelastung zu bestimmen. Die Messung erfolgte daher alle 2 min, um die Veränderung des Unterschenkelvolumens der Probanden kontinuierlich messen zu können (Abb. 1).

## 2.6 Statistik

Die statistischen Daten wurden mithilfe einer Tabelle der Firma Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) erfasst. Für die Auswertung dieser Daten wurden die Analysefunktionen von Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA), die Statistiksoftware JMP (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA) und R (R Core Team 2020. R: Eine Sprache und Umgebung für statistisches Rechnen. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) verwendet. Außerdem wurden die drei Zusatzpakete „Philipp Schauburger and Alexander Walker (2020). openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. R package version 4.2.3.“, „Yihui Xie (2021). knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R. R package version 1.31“ und „Stefano Meschiari (2015). latex2exp: Use LaTeX Expressions in Plots. R package version 0.4.0.“ verwendet. Es wurden gepaarte, einseitige T-Tests durchgeführt, um die Zunahme des Volumens, des Bewegungsdrangs und der Missempfindungen im Laufe der fünfzehnminütigen Stehzeit zu analysieren. Außerdem erfolgte eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Unterschenkelvolumen, den Missempfindungen und dem Bewegungsdrang der Studienteilnehmer. Dazu wurden für jeden einzelnen Probanden Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen der Zunahme des Unterschenkelvolumens und dem Auftreten von Missempfindungen sowie zwischen der Zunahme des Unterschenkelvolumens und dem Anstieg des Bewegungsdrangs während der Stehzeit berechnet. Die einzelnen Korrelationskoeffizienten wurden als Boxplots dargestellt. Ferner wurden zwei linear gemischte Modelle durchgeführt, um zu prüfen, ob die Beziehung

zwischen den oben genannten Variablen kausal ist. Linear gemischte Effektmodelle enthalten feste Effekte und individuelle oder clusterspezifische Zufallseffekte. Ihr Vorteil ist, dass sie auch bei wiederholten Beobachtungen von Individuen in Längsschnittstudien oder bei der Analyse von Clusterdaten angewendet werden können (22). Das erste Modell wurde durchgeführt, um den Einfluss der Zunahme des Unterschenkelvolumens auf das Auftreten von Beschwerden während der Stehzeit zu untersuchen. Die abhängige Variable war die Missempfindung. Im zweiten Modell wurde der Einfluss der Unterschenkelvolumenzunahme auf den Bewegungsdrang getestet, wobei der Bewegungsdrang als abhängige Variable diente. Die feste Variable in beiden Modellen war die Veränderung des Unterschenkelvolumens. Die Probanden-ID wurde als Zufallsvariable gewählt, indem das Unterschenkelvolumen durch den individuellen Baseline-Wert  $t$  in der ersten Minute jedes Experiments normalisiert wurde. Für die Berechnung der linear gemischten Modelle wurden ausschließlich Daten der Versuche ohne MKS miteinbezogen.

Die statistischen Analysen wurden mit Herrn Dr. Marcus Vollmer (Institut für Bioinformatik, Direktor: Prof. Dr. Lars Kaderali, Universitätsmedizin Greifswald) und Herrn Priv.-Doz. Dr. Hermann Haase (Diplommathematiker an der Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten, Universitätsmedizin Greifswald) entwickelt.

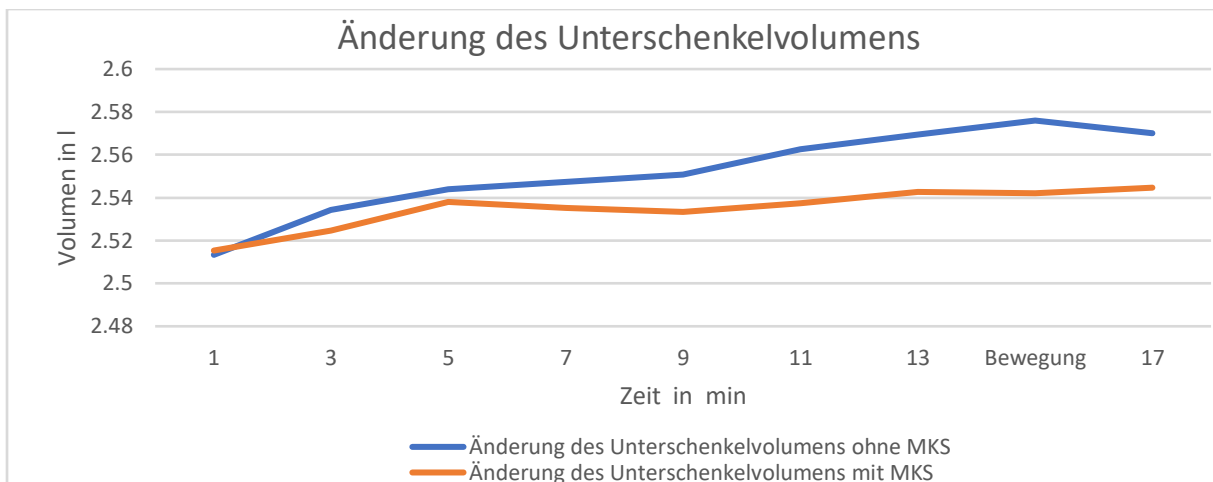
## **2.7 Kompressionsmaterialien**

Das Modell Venotrain Soft S der Kompressionsklasse II mit einem Anpressdruck von 23-32 mmHg, hergestellt von Bauerfeind (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Deutschland), wurde als Unterschenkelstrumpf verwendet. Die Strümpfe trugen die Probanden ab dem Beginn der Stehbelastung.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Änderung des Unterschenkelvolumens

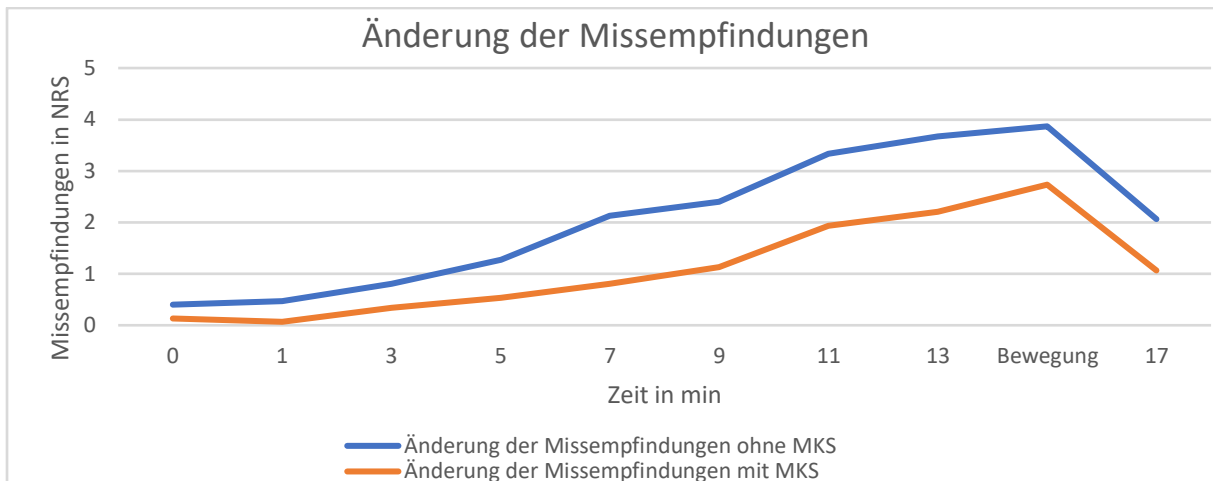
Das Unterschenkelvolumen stieg während der Stehbelastung von 15 min durchschnittlich um 63 ml und um 27 ml mit MKS ( $p < 0,001$ ) (Abb. 2). Während der Bewegung im Anschluss an die Stehbelastung wurde das Unterschenkelvolumen um 6 ml reduziert und mit MKS um 5 ml erhöht (nicht signifikant).



**Abbildung 2** - Darstellung der mittleren Änderung des Unterschenkelvolumens mit und ohne MKS (in l) während einer Stehbelastung von 15 min. Das Unterschenkelvolumen wurde in einem Intervall von 2 min gemessen. Nach der Stehbelastung erfolgte eine einstudierte Beinbewegung. Anschließend wurde das Unterschenkelvolumen wiederholt gemessen. Durch das Tragen der MKS wurde eine signifikant geringere Zunahme des Unterschenkelvolumens beobachtet ( $p < 0,001$ ). Abbildungen aus Junge et al. (18,19).

### 3.2 Änderungen der Missempfindungen

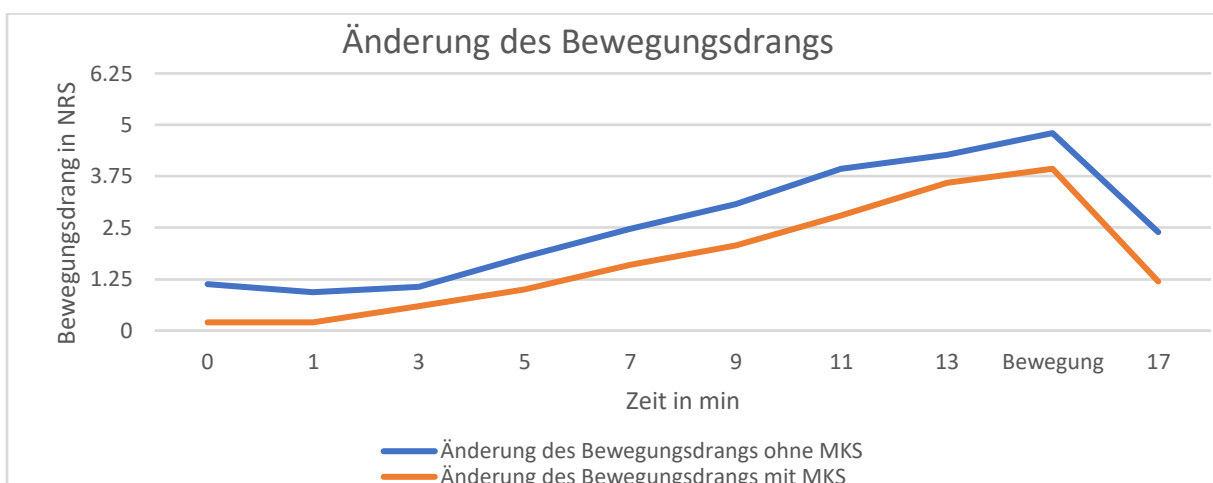
Die Missempfindungen stiegen nach der Stehzeit von 15 min im Mittel um 3,46 Punkte auf der NRS und mit MKS um 2,6 Punkte auf der NRS ( $p < 0,001$ ) (Abb. 3). Im Anschluss an die Bewegung verringerten sich die Missempfindungen sowohl mit MKS als auch ohne MKS um 1,67 Punkte auf der NRS ( $p < 0,001$ ).



**Abbildung 3** - Darstellung der mittleren Änderung der Missempfindungen mit und ohne MKS (in arbiträren Einheiten von null bis zehn auf der NRS) während einer Stehbelastung von 15 min. Die Missempfindungen wurden in einem Intervall von 2 min gemessen. Nach der Stehbelastung erfolgte eine einstudierte Beinbewegung. Anschließend wurden die Missempfindungen wiederholt gemessen. Durch das Tragen der MKS wurden signifikant weniger Missempfindungen beobachtet ( $p < 0,001$ ). Abbildungen aus Junge et al. (18,19).

### 3.3 Änderungen des Bewegungsdrangs

Der Bewegungsdrang der Teilnehmer steigerte sich während des Stehversuchs um 3,47 Punkte auf der NRS und mit MKS um 3,73 Punkte auf der NRS ( $p < 0,001$ ) (Abb. 4). Nach der Bewegung konnte der Bewegungsdrang um 2,40 und mit MKS um 2,73 Punkte reduziert werden ( $p < 0,001$ )



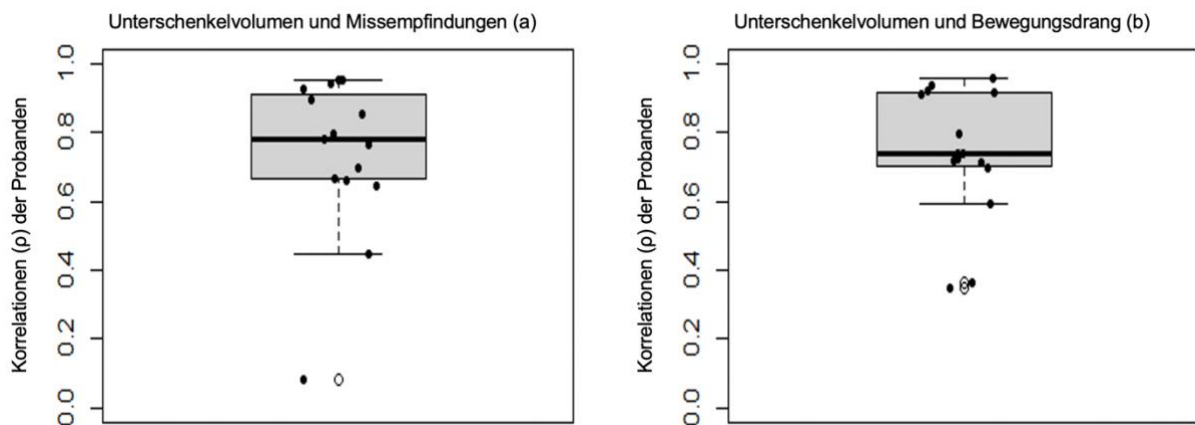
**Abbildung 4** - Darstellung der mittleren Änderung des Bewegungsdrangs mit und ohne MKS (in arbiträren Einheiten von null bis zehn auf der NRS) während einer Stehbelastung von 15 min. Der Bewegungsdrang wurde in einem Intervall von 2 min gemessen. Nach der Stehbelastung erfolgte eine einstudierte Beinbewegung. Anschließend wurde der Bewegungsdrang wiederholt gemessen. Durch das Tragen der MKS wurde signifikant weniger Bewegungsdrang beobachtet ( $p < 0,001$ ). Abbildungen aus Junge et al. (18,19).



### 3.4 Korrelationen zwischen Zunahme des Unterschenkelvolumens und Änderung der Missempfindungen und des Bewegungsdrangs

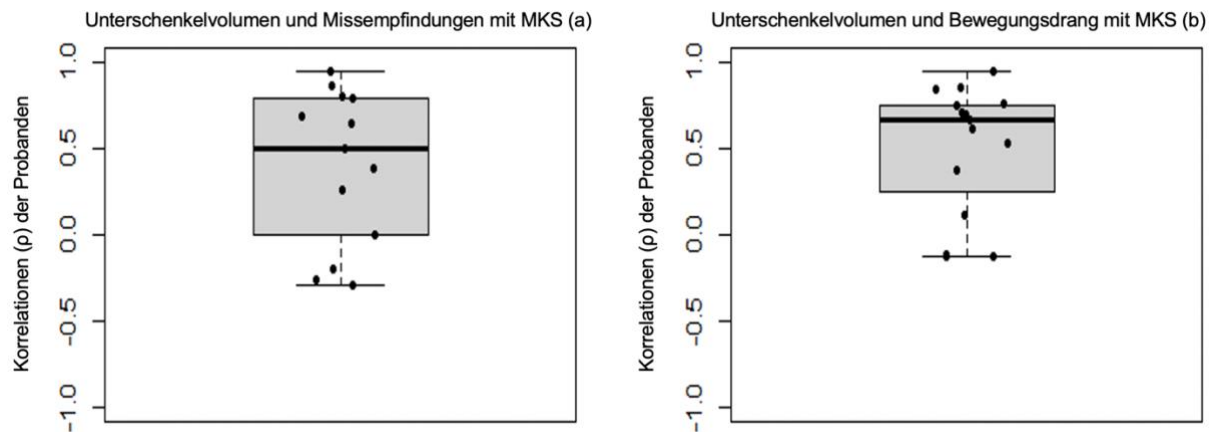
Um den Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern zu untersuchen, wurden für jeden einzelnen Probanden Korrelationen des Unterschenkelvolumens mit den Missempfindungen und dem Bewegungsdrang durchgeführt.

Während der Versuche, bei denen keine MKS getragen wurden, zeigte sich, dass die Zunahme des Unterschenkelvolumens bei neun von fünfzehn Probanden signifikant mit dem Auftreten von Missempfindungen korrelierte ( $p < 0,05$ ) (Abb. 5a). Außerdem stellte sich heraus, dass die Zunahme des Unterschenkelvolumens bei elf von fünfzehn Probanden signifikant mit dem wahrgenommenen Bewegungsdrang korrelierte ( $p < 0,05$ ) (Abb. 5b).



**Abbildung 5** - Boxplot der individuellen Korrelationen ( $\rho$ ) des Unterschenkelvolumens mit den Missempfindungen (a) und dem Bewegungsdrang (b) während einer Stehbelastung von 15 min. Das Unterschenkelvolumen (in l), die Missempfindungen und der Bewegungsdrang (in arbiträren Einheiten null bis zehn auf der NRS) wurden in einem Intervall von 2 min erfasst. Insgesamt waren neun von fünfzehn Korrelationen (a) und elf von fünfzehn Korrelationen (b) signifikant ( $p < 0,05$ ). Abbildungen aus Junge et al. (18).

Während die MKS getragen wurden, konnte nachgewiesen werden, dass die Korrelationen zwischen der Zunahme des Unterschenkelvolumens und den erfassten Missempfindungen bei sechs von dreizehn Teilnehmern schwach signifikant waren ( $p < 0,1$ ) (Abb. 6a). Die Korrelationen zwischen der Zunahme des Unterschenkelvolumens und dem empfundenen Bewegungsdrang waren bei acht von fünfzehn Teilnehmern schwach signifikant ( $p < 0,1$ ) (Abb. 6b).



**Abbildung 6** - Boxplot der individuellen Korrelationen ( $\rho$ ) des Unterschenkelvolumens mit den Missempfindungen (a) und dem Bewegungsdrang (b) mit MKS während Stehbelastung von 15 min. Es wurden Unterschenkelstrümpfe (23-32 mmHg) getragen. Das Unterschenkelvolumen (in l), die Missempfindungen und der Bewegungsdrang (in arbitrarisches Einheiten null bis zehn auf der NRS) wurden in einem Intervall von 2 min erfasst. Insgesamt waren mit getragenen MKS sechs von dreizehn Korrelationen (a) und acht von fünfzehn Korrelationen (b) schwach-signifikant ( $p < 0,1$ ). Abbildungen aus Junge et al. (19).

### 3.5 Einfluss der MKS auf Unterschenkelvolumen, Missempfindungen und Bewegungsdrang

Die Ergebnisse der Stehversuche mit getragenen MKS wurden mit denen der Versuche ohne MKS verglichen. Es zeigte sich, dass das Tragen von MKS eine signifikant mildernde Auswirkung auf den Anstieg des Unterschenkelvolumen hatte ( $p < 0,001$ ). Die Missempfindungen und der Bewegungsdrang konnten durch das Tragen von MKS signifikant reduziert werden ( $p < 0,001$ ) (Abb. 4-6).

### 3.6 Zusammenhang zwischen Zunahme des Unterschenkelvolumens und Änderung der Missempfindungen oder des Bewegungsdrangs

Die Ergebnisse der linearen gemischten Modelle zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Veränderungen des Unterschenkelvolumens und dem Auftreten von Missempfindungen und Bewegungsdrang im Stehen für die Werte der Versuche ohne MKS ( $p < 0,001$ ). Im Rahmen der kontrollierten Umgebung der durchgeführten Stehversuche implizieren diese Ergebnisse eine kausale Beziehung zwischen den genannten Parametern (Tab. 1).

**Tabelle 1** - Lineare gemischte Modelle mit den abhängigen Variablen: Missempfindungen (NRS) und Bewegungsdrang (NRS). Der feste Effekt war das Unterschenkelvolumen (normalisiert auf den Baseline-Wert jedes Probanden). Die Probanden-ID wurde als Zufallseffekt verwendet. Verwendung der Tabelle aus Junge et al. (18,19).

<b>Missempfindungen (NRS) erklärt durch die Veränderung des Unterschenkelvolumens um 100%, zufälliger Effekt: Probanden-ID</b>				
<b>Feste Effekte</b>	<b>Schätzungswert</b>	<b>Standardfehler</b>	<b>t-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>Missempfindungen</b>			
<b>Volumen (%)</b>	50,6838	8,8391	5,734	p < 0,001 (9,80E-09)
<b>Bewegungsdrang (NRS) erklärt durch die Veränderung des Unterschenkelvolumens um 100%, zufälliger Effekt: Probanden-ID</b>				
<b>Feste Effekte</b>	<b>Schätzungswert</b>	<b>Standardfehler</b>	<b>t-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>Bewegungsdrang</b>			
<b>Volumen (%)</b>	71,9165	9,4355	7,622	p < 0,001 (2,51E-14)

## 4 Diskussion

Ziel der Studie war es, die Änderung von Unterschenkelvolumen, Missempfindungen und Bewegungsdrang in den Beinen während einer Stehbelastung zu messen. Es sollte untersucht werden, ob zwischen den genannten Parametern ein kausaler Zusammenhang existiert und ob sie sich durch einstudierte Bewegungen und MKS beeinflussen lassen. Dabei konnte herausgefunden werden, dass längeres Stehen zu einer Zunahme des Unterschenkelvolumens führt. Dieses Resultat lässt sich in den vorhandenen Konsens zu dieser Thematik gut einordnen und bestätigt die bisherigen Erkenntnisse verschiedener Studien bezüglich der Zunahme des Beinvolumens durch Stehbelastungen (4,5,23,24).

Ebenfalls nachgewiesen werden konnte eine durch die durchgeführten Stehversuche bedingte Zunahme von Missempfindungen in den Beinen der Probanden. In verschiedenen Veröffentlichungen kamen auch andere Autoren zu diesem Ergebnis (3,11,25).

Im Gegensatz zu vorherigen Arbeiten wurde in der hier durchgeführten Studie zusätzlich die Änderung des Bewegungsdrangs der Probanden untersucht. Der Bewegungsdrang stieg während der durchgeführten Stehbelastung mit einer ähnlichen Dynamik wie die Missempfindungen der Probanden. Durch dieses Ergebnis wird die Zunahme der Missempfindungen bestätigt.

Zur Frage des Zusammenhangs von der Zunahme des Unterschenkelvolumens und dem Anstieg der Missempfindungen während einer Stehbelastung gab es bisher verschiedene Auffassungen durch mehrere Autoren. Eine veröffentlichte Arbeit von Blättler et al. beinhaltete einen Stehversuch, welcher dem Versuch in der hier durchgeführten Studie sehr ähnlich war (3). Die Probanden führten bei Blättler et al. eine Stehbelastung mit einer Dauer von 10 min durch. Das Unterschenkelvolumen wurde mit dem gleichen Messgerät ermittelt, dem Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Deutschland). Auch die Missempfindungen der Probanden wurden erfasst. Blättler et al. berechneten die Korrelationen zwischen den Mittelwerten der Beschwerden und den Mittelwerten des Beinvolumens von der Gesamtheit der Probanden mit Hilfe des Spearman-Korrelationskoeffizienten. Dabei stellten sie fest, dass bezüglich der von ihnen erhobenen Daten kein Zusammenhang zwischen den genannten Parametern existierte. Anders als in der Veröffentlichung von Blättler et al. wurden in der hier beschriebenen Studie Pearson'schen Korrelationskoeffizienten genutzt. Die Korrelationen zwischen den genannten Parametern wurden außerdem für jeden einzelnen Probanden berechnet und nicht wie bei Blättler et al. zwischen den Mittelwerten der Parameter aller Studienteilnehmer. So konnte, anders als bei Blättler et al., bei der Mehrzahl der Probanden ein mathematischer

Zusammenhang zwischen der Volumenzunahme und der Empfindung von Missempfindungen festgestellt werden.

Zur Klärung der Kausalität des Zusammenhangs zwischen dem Unterschenkelvolumen und den Veränderungen der Beschwerden wurde eine statistische Analyse mittels eines linear gemischten Modells durchgeführt. Dafür wurden ausschließlich Ergebnisse der Versuche ohne MKS genutzt. Auf der Grundlage der hier gemessenen Daten deutet sich ein kausaler Zusammenhang zwischen den genannten Parametern an. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von Amsler und Blättler (3). Weitere Untersuchungen zu dieser Thematik wurden von Lin et al. durchgeführt (26). Sie konnten einen Zusammenhang zwischen der Volumenzunahme und den Beschwerden in den Unterschenkeln während einer vierstündigen Stehzeit nachweisen. Zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson wurden für das Unterschenkelvolumen und die Beschwerden die Mittelwerte aller Probanden gebildet. Wie auch schon in den Publikationen von Junge et al. beschrieben, deuten die Ergebnisse der hier durchgeführten Stehversuche und die der oben genannten Studie von Lin et al. darauf hin, dass es einen Zusammenhang zwischen der Volumenzunahme der Unterschenkel und der Entwicklung von Beschwerden im Rahmen von Stehbelastungen gibt. Allerdings nicht bei allen Personen. Es sind jedoch weitere Studien erforderlich, um zu untersuchen, ob eine Kausalität dieser Beziehung nachgewiesen werden kann. Dabei sollten auch Stoffwechselprozesse auf molekularbiologischer Ebene einbezogen werden. Insgesamt ist es schwierig, subjektive Äußerungen wie Missempfindungen und Bewegungsdrang mit objektiven Messergebnissen wie der Volumenzunahme zu korrelieren (18,19).

Die Stehversuche wurden sowohl mit getragenen MKS als auch ohne MKS durchgeführt. Durch das Tragen der MKS war es möglich, das Unterschenkelvolumens und die Missempfindungen während der Stehbelastung signifikant zu reduzieren. Damit konnten die Erkenntnisse aus anderen Studien zu dieser Thematik bestätigt werden (27,28). MKS stellen demzufolge nach wie vor ein suffizientes Mittel dar, um die Beschwerden von den Menschen zu verbessern, die im Rahmen des Berufs oder im Privatleben mit Stehbelastungen in Kontakt kommen.

Als eine weitere Möglichkeit die Ödeme und Beschwerden während einer Stehbelastung zu verringern, wurde der Einfluss von einstudierten Bewegungen untersucht. Dabei zeigte sich, dass die durchgeführten Bewegungen das Auftreten von Beschwerden und den Bewegungsdrang der Probanden deutlich reduzieren konnten (Abb. 3a,3b). Lin et al. kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie führten eine Studie durch, in der die Probanden eine vierstündige

Stehbelastung absolvierten. Dabei wiesen sie nach, dass die Durchführung von Bewegungen zu jeder halben Stunde während der Stehbelastung den Anstieg des Beinvolumens reduzierte (26). Ein anderer Effekt der einstudierten Bewegung in der hier durchgeführten Studie war eine Reduktion des Unterschenkelvolumens. Dieses Ergebnis war allerdings nicht signifikant. Die mutmaßliche Ursache dafür ist, dass die Bewegungssequenz am Ende der Stehzeit zu kurz war. Die Stehbelastung bewirkte eine Erhöhung des hydrostatischen Drucks in den Venen der Beine. Dieser führte nach der Starling-Gleichung zu einer vermehrten Filtration intravasaler Flüssigkeit in das Interstitium und folglich zu einer Ödementstehung (6). Eine Bewegungssequenz von nur 15 s am Ende der Stehzeit hatte keinen relevanten Einfluss auf das bereits in das Interstitium filtrierte Volumen, weil die Zeit der Bewegung nicht ausreichte, um den hydrostatischen Druck in den Venen längerfristig zu verringern und damit eine Rückresorption der Flüssigkeit aus dem Interstitium zu bewirken. Auch eine relevante Lymphdrainage konnte mit der kurzen Bewegungssequenz nicht erreicht werden. Ferner war es nicht möglich, eine durch die Muskelpumpe bedingte signifikante Entleerung der venösen Blutgefäße im Bein nachzuweisen. Ein möglicher Grund dafür ist, dass die Messung des Unterschenkelvolumens mit dem Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Deutschland) nach der Bewegung 50 s dauerte. Die physiologische Wiederauffüllungszeit der Venen ist zwar in der Regel  $\geq 25$  s, bleibt aber in vielen Fällen unter 50 s (29,30). Somit waren die Venen der Beine am Ende der jeweiligen Messung mutmaßlich bereits wieder gefüllt. Aus den genannten Gründen war die in unserer Studie gemessene Volumenabnahme der Unterschenkel durch die einstudierte Bewegung der Beine nur gering und nicht signifikant. Im Gegensatz dazu konnten Stick et al. (15,16) in zwei Studien, einen präventiven Effekt von Bewegungen auf die Ödembildung in den Beinen signifikant nachweisen. Nach einer zehn- bzw. zwölfminütigen Stehzeit zeigte sich eine Reduktion des Beinvolumens um 1,6 % bzw. 1,1 % durch eine zwanzigminütige Fahrt auf einem Ergometer. Schlussendlich lässt sich also sagen, dass sich ein positiver Effekt von Bewegungen auf die Ödembildung im Rahmen von Stehbelastungen andeutet.

## 5 Fazit

Mithilfe des durchgeführten Stehversuchs konnte nachgewiesen werden, dass Stehbelastungen zu einer Zunahme des Unterschenkelvolumens, der Missempfindungen und des Bewegungsdrangs führen. Der Leidensdruck und die Häufigkeit von Beschwerden und Ödemen, die durch Stehbelastungen hervorgerufen werden, sind bei vielen Menschen sehr hoch (31). Daher ist es wichtig, dass Untersuchungen und Studien zu dieser Thematik weiterhin einen Schwerpunkt der Forschung darstellen. Die Probanden in dieser Studie waren in der Lage, durch Bewegungen die Beschwerden und teilweise auch die Ödeme zu reduzieren. Basierend auf diesen Resultaten sollten die von den Beschwerden betroffenen Menschen mit überwiegend stehender Beschäftigung generell körperliches Training in den Tagesablauf integrieren. Während des Arbeitstages sollten regelmäßige Pausen eingeplant werden, um Bewegungsübungen der Beine durchzuführen. Die Ergebnisse der hier durchgeführten Studie zeigten außerdem, dass Abhilfe gegen Beschwerden und Ödeme durch Stehbelastungen auch MKS schaffen können. Das Tragen von MKS während der Arbeit im Stehen sollte von Menschen mit starker Beeinträchtigung in Erwägung gezogen werden.

## 6 Zusammenfassung

Ödeme, die durch Orthostase verursacht werden, sind im medizinischen und beruflichen Kontext ein häufiges Krankheitsbild. Die Volumenzunahme in den Unterschenkeln und die damit verbundenen Beschwerden treten insbesondere in Berufen auf, die mit langem Stehen und wenig Bewegung verbunden sind. Bisher ungeklärt ist, ob es einen Zusammenhang zwischen der Zunahme des Unterschenkelvolumens und der Entstehung von Missempfindungen bei Stehbelastungen gibt. Ebenfalls fraglich ist, ob die während einer Orthostase entstehenden Missempfindungen durch die Durchführung bestimmter Bewegungen beeinflusst werden können.

Ziel dieser nicht-randomisierten, kontrollierten Studie war es, die Veränderungen und den zeitlichen Zusammenhang von einer Volumenzunahme und dem Auftreten von Beschwerden in den Unterschenkeln während einer Stehbelastung zu untersuchen. Dabei wurde durch die Probanden eine zeitlich begrenzte Stehbelastung von 15 min absolviert. Im Rahmen dessen wurde das Unterschenkelvolumen mit einem optischen dreidimensionalen Volumenmesssystem gemessen. Die aufgetretenen Missempfindungen und der Bewegungsdrang wurden anhand einer numerischen Rating-Skala (NRS) von null bis zehn Punkten abgefragt. Es wurde eine Korrelationsanalyse zwischen dem Unterschenkelvolumen und den Daten zu den Missempfindungen und dem Bewegungsdrang der einzelnen Probanden durchgeführt. Darüber hinaus wurden lineare Modelle mit gemischten Effekten berechnet, um das Vorhandensein einer kausalen Beziehung zwischen dem Unterschenkelvolumen und den Missempfindungen oder dem Bewegungsdrang im Stehen zu untersuchen. Die Stehversuche wurden ein zweites Mal durchgeführt, während die Probanden MKS trugen.

Als Resultat konnte gezeigt werden, dass das Unterschenkelvolumen während der Stehphase ohne MKS durchschnittlich um 63 ml und mit MKS um 27 ml zu nahm ( $p < 0,001$ ). Die Missempfindungen stiegen während der Orthostase ohne MKS im Mittel um 3,46 Punkte auf der NRS und mit MKS um 2,6 Punkte ( $p < 0,001$ ). Der Bewegungsdrang der Teilnehmer erhöhte sich während der Stehphase ohne MKS um 3,47 Punkte auf der NRS und mit MKS um 3,73 Punkte ( $p < 0,001$ ). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Zunahme des Unterschenkelvolumens und dem Auftreten von Missempfindungen bzw. von Bewegungsdrang wurde bei der Mehrzahl der Probanden ohne MKS ( $p < 0,05$ ) und mit MKS ( $p < 0,1$ ) festgestellt. In den linear gemischten Modellen zeigte sich ein kausaler Zusammenhang zwischen der Volumenzunahme der Unterschenkel und dem Auftreten der Symptome ( $p < 0,001$ ).



Schlussendlich lässt sich feststellen, dass längeres Stehen mit Bewegungsmangel bei venengesunden Probanden zu einer Zunahme des Unterschenkelvolumens und zu einem Gefühl von Unbehagen führt. Durch einstudierte Bewegungen und das Tragen von MKS können unter kontrollierten Bedingungen die Missempfindungen in den Beinen und teilweise auch das Unterschenkelvolumen reduziert werden. Lineare Modelle mit gemischten Effekten weisen auf kausale Zusammenhänge zwischen diesen Variablen hin. Aufgrund der Schwierigkeit, subjektive Äußerungen über Beschwerden mit objektiven Messergebnissen wie der Volumenzunahme zu korrelieren, sind jedoch weitere Studien erforderlich, die auch Stoffwechselprozesse auf molekularbiologischer Ebene miteinbeziehen.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Lück M, Hünefeld L, Brenscheidt S, Bödefeld M, Hünefeld A. Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 (2. Auflage). 2019 [zitiert 28. Februar 2022]; Verfügbar unter: [https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Berichte/F2417-2.html?pk\\_campaign=QR-Code](https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Berichte/F2417-2.html?pk_campaign=QR-Code).
2. Blazek C, Amsler F, Blaettler W, Keo HH, Baumgartner I, Willenberg T. Compression hosiery for occupational leg symptoms and leg volume: a randomized crossover trial in a cohort of hairdressers. *Phlebology*. August 2013;28(5):239–47.
3. Blättler W, Thomae H-J, Amsler F. Venous leg symptoms in healthy subjects assessed during prolonged standing. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. Oktober 2016;4(4):455–62.
4. Krijnen RM, de Boer EM, Ader HJ, Bruynzeel DP. Diurnal volume changes of the lower legs in healthy males with a profession that requires standing. *Skin Res Technol Off J Int Soc Bioeng Skin ISBS Int Soc Digit Imaging Skin ISDIS Int Soc Skin Imaging ISSI*. Februar 1998;4(1):18–23.
5. Pannier F, Rabe E. Optoelectric volume measurements to demonstrate volume changes in the lower extremities during orthostasis. *Int Angiol J Int Union Angiol*. Oktober 2010;29(5):395–400.
6. Schmidt RF, Lang F, Heckmann M. *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie*. 31., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg Springer e-books; 2011: 590-592. (Springer-Lehrbuch).
7. Partsch H, Winiger J, Lun B. Compression stockings reduce occupational leg swelling. *Dermatol Surg Off Publ Am Soc Dermatol Surg Al*. Mai 2004;30(5):737–43; discussion 743.
8. Hirai M, Iwata H, Hayakawa N. Effect of elastic compression stockings in patients with varicose veins and healthy controls measured by strain gauge plethysmography. *Skin Res Technol Off J Int Soc Bioeng Skin ISBS Int Soc Digit Imaging Skin ISDIS Int Soc Skin Imaging ISSI*. November 2002;8(4):236–9.
9. Weiss RA, Duffy D. Clinical benefits of lightweight compression: reduction of venous-related symptoms by ready-to-wear lightweight gradient compression hosiery. *Dermatol Surg Off Publ Am Soc Dermatol Surg Al*. September 1999;25(9):701–4.
10. Guedes PM, Saldanha NA, Matos PM, Carvalho FS, Veiga G, Norton P. Occupational leg edema-use of compression stockings. *Porto Biomed J*. Dezember 2020;5(6):e093.
11. Blättler W, Thomä H, Winkler C, Amsler F. Light medical compression stockings reduce complains while standing equally good as tight ones. *Phlebologie*. 1. Januar 2016;45:25–8.

12. Agle CG, de Sá CKC, Amorim DS, Figueiredo MA de M. Evaluation of the effectiveness of wearing compression stockings for prevention of occupational edema in hairdressers. *J Vasc Bras.* 6. März 2020;19:e20190028.
13. Belczak CEQ, de Godoy JMP, Ramos RN, de Oliveira MA, Belczak SQ, Caffaro RA. Is the wearing of elastic stockings for half a day as effective as wearing them for the entire day? *Br J Dermatol.* Januar 2010;162(1):42–5.
14. Wienert V, Gerlach H, Gallenkemper G, Kahle B, Marshall M, Rabe E, u. a. Leitlinie Medizinischer Kompressionsstrumpf (MKS). *Phlebologie.* 2006;35(6):315–20.
15. Stick C, Grau H, Witzleb E. On the edema-preventing effect of the calf muscle pump. *Eur J Appl Physiol.* 1989;59(1–2):39–47.
16. Stick C, Hiedl U, Witzleb E. Volume changes in the lower leg during quiet standing and cycling exercise at different ambient temperatures. *Eur J Appl Physiol.* 1993;66(5):427–33.
17. Amsler F, Blättler W. Compression therapy for occupational leg symptoms and chronic venous disorders - a meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* März 2008;35(3):366–72.
18. Junge F, Kenschake W, Haase H, Vollmer M, Jünger M. Walking instead of standing. *VASA.* 2022 Mar;51(2):78-84.
19. Junge F, Kenschake W, Haase H, Jünger M. Influence of compression stockings on the sensation of discomfort and the volume of the lower legs in healthy subjects during standing load. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2021;79(1):91–101.
20. Rabe E, Caggiati A, Herausgeber. *Grundlagen der Phlebologie.* 3., erw.vollst. überarb. Neuaufl. Köln: Viavital-Verl; 2003. 454 S.
21. Tischer T, Oye S, Wolf A, Feldhege F, Jacksteit R, Mittelmeier W, u. a. Measuring lower limb circumference and volume - introduction of a novel optical 3D volumetric measurement system. *Biomed Tech (Berl).* 28. April 2020;65(2):237–41.
22. Fahrmeir L, Kneib T, Lang S. *Regression: Modelle, Methoden und Anwendungen.* 2. Aufl. Heidelberg Berlin: Springer; 2009. 501 S. (Statistik und ihre Anwendungen).
23. Karimi Z, Allahyari T, Azghani MR, Khalkhali H. Influence of unstable footwear on lower leg muscle activity, volume change and subjective discomfort during prolonged standing. *Appl Ergon.* März 2016;53 Pt A:95–102.
24. Lin Y-H, Chen C-Y, Cho M-H. Influence of shoe/floor conditions on lower leg circumference and subjective discomfort during prolonged standing. *Appl Ergon.* September 2012;43(5):965–70.
25. Seo A, Kakehashi M, Tsuru S, Yoshinaga F. Leg Swelling during Continuous Standing and Sitting Work without Restricting Leg Movement. *J Occup Health.* Oktober 1996;38(4):186–9.

26. Lin Y-H, Chen C-Y, Cho M-H. Effectiveness of leg movement in reducing leg swelling and discomfort in lower extremities. *Appl Ergon*. November 2012;43(6):1033–7.
27. Jonker MJ, de Boer EM, Adèr HJ, Bezemer PD. The oedema-protective effect of Lycra support stockings. *Dermatol Basel Switz*. 2001;203(4):294–8.
28. Wou J, Williams KJ, Davies AH. Compression Stockings versus Neuromuscular Electrical Stimulation Devices in the Management of Occupational Leg Swelling. *Int J Angiol Off Publ Int Coll Angiol Inc*. Juni 2016;25(2):104–9.
29. Pannier F, Gerlach H, Stücker M, Schimmelpfennig L, Rabe E. Leitlinie: Venöse Diagnostik mit der Licht-Reflexions-Rheographie/ Photoplethysmographie: der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie. *Phlebologie*. 2012;41(05):261–3.
30. Stücker M, Reich S, Robak-Pawelczyk B, Moll C, Rudolph T, Altmeyer PJ, u. a. Changes in venous refilling time from childhood to adulthood in subjects with apparently normal veins. *J Vasc Surg*. Februar 2005;41(2):296–302.
31. Coenen P, Parry S, Willenberg L, Shi JW, Romero L, Blackwood DM, u. a. Associations of prolonged standing with musculoskeletal symptoms-A systematic review of laboratory studies. *Gait Posture*. Oktober 2017;58:310–8.

## **8 Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Datum

Unterschrift

## 9 Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Michael Jünger für die allseits freundliche und fachliche Unterstützung, die Bereitstellung des Themas und die gute Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Wolfgang Kenschake (Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten, Universitätsmedizin Greifswald) für die tadellose Betreuung, seine ständige Erreichbarkeit, seine Geduld und die vielen Korrekturen.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Hermann Haase (Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten, Universitätsmedizin Greifswald) und Herrn Dr. Marcus Vollmer (Institut für Bioinformatik, Direktor: Prof. Dr. Lars Kaderali, Universitätsmedizin Greifswald) möchte ich für die statistische Betreuung und die wertvollen Anregungen danken.

Ich danke auch allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Hautklinik in Greifswald für die Hilfe bei der Materialbestellung und der Durchführung der Versuche.

Für die freiwillige Teilnahme an der Studie möchte ich mich bei allen Probanden herzlich bedanken.

Meine tiefe Dankbarkeit gilt meinen Eltern, Martina Junge und Roland Junge, ohne deren uneingeschränkte und liebevolle Unterstützung diese Arbeit, aber auch meine Ausbildung nicht möglich gewesen wären. Im gleichen Zuge möchte ich auch meinen Großeltern für Ihre Unterstützung und Fürsorge danken.

Meiner Schwester Katja Junghans möchte ich für die Hilfe bei der Korrektur, ihre Motivation und das stetige Nachfragen danken. Felix Junghans danke ich für die Hilfe bei der Formatierung der Arbeit.


Meinen Freunden Kevin Krüger, Florian Nawroth, Jan Heyne, Alexander Harloff, Jan-Niklas Hohmann, Anselm Michaelis und Chris Wynserski danke ich für die Unterstützung im Studium und darüber hinaus.

Nicht zuletzt danke ich meiner Partnerin Anna Berkenbusch für ihre vielen motivierenden Worte, ihre Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit und dafür, dass sie in allen Lebenslagen immer an meiner Seite steht.



# Walking instead of standing

## Influence of movement on sensations of discomfort and the volume of the lower legs during standing loads

Florian Junge<sup>1,a</sup>, Wolfgang Kenschake<sup>1,a</sup> , Hermann Haase<sup>1</sup>, Marcus Vollmer<sup>2</sup>, and Michael Jünger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Dermatology, University Medicine Greifswald, Germany

<sup>2</sup> Institute of Bioinformatics, University Medicine Greifswald, Germany

<sup>a</sup> Both authors worked in equal parts on this manuscript

**Summary:** *Background:* Leg discomfort is common in the general population. Volume increase and discomfort in the lower legs especially occur in occupations with long standing or sitting periods and less movement. Are both related to each other? *Patients and methods:* A time-controlled standing period of 15 min was performed in this nonrandomized controlled study to investigate the change and temporal relationship of volume increase and the occurrence of lower leg discomfort. Sensations of discomfort and the urge to move were queried using a numerical rating scale from 0 to 10 (NRS). Correlation analysis was conducted between the lower leg volume and the data regarding the discomfort and urge to move in each subject. Further, linear mixed effect models were performed to detect a causal relationship between the lower leg volume and the sensations of discomfort/urge to move in the standing period. *Results:* Lower leg volume increased by an average of 63 ml ( $p < 0.001$ ) during the standing period. The sensations of discomfort increased by a mean of 3.46 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) during orthostasis. Participants' urge to move increased by 3.47 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) during the standing period. A significant correlation was shown between the increase of lower leg volume and the occurrence of discomfort sensation in 9 out of 15 subjects ( $p < 0.05$ ) and between the increase of lower leg volume and the urge to move in 11 out of 15 subjects ( $p < 0.05$ ). Association was shown between volume increase and symptoms in linear mixed effects models. *Conclusions:* Prolonged standing with lack of movement leads to an increase in the lower leg volume and a sensation of discomfort in venous healthy subjects. Causal relationships are indicated between these variables by linear mixed effects models.

**Keywords:** leg edema, leg complaints, orthostasis, healthy subjects

## Introduction

The issue of standing load and the associated complaints are highly relevant for the working population in Germany, where paresthesia in the legs is very common. More than half (56.4%) of the participants in the Bonn Vein Study 2003 had experienced discomfort in their legs in the last four weeks of the survey [1]. Working people suffer from complaints such as pain and swelling in the legs especially in occupations with a heavy standing load [2, 3]. Patients with such symptoms often have a high level of suffering in their daily work life, therefore, possibilities to improve their quality of life are an ongoing research focus. Occupations including a high level of standing stress are common in Germany. A survey by the German Federal Ministry of Labor and Social Affairs in 2018 found that 53.5% of the 19,979 employed people surveyed performed their work predominantly in a standing position [4]. Of these, 26.7% felt burdened by this requirement. This means, that about every seventh worker is affected by standing strain and feel burdened by this situation.

It has already been shown in several studies that prolonged standing without movement leads to an increase in discomfort and the volume of the lower leg [5, 6, 7].

Physical exercise reduces the swelling of the legs [8, 9, 10, 11]. The relationship between an increase in lower leg volume and the development of leg discomfort, as well as the effect of physical exercise on both, has not yet been clarified.

This study, therefore, investigates the increase in lower leg volume and the changes in sensations of discomfort and the urge to move during a time-limited controlled standing period. In a second step, the influence of exercise on the lower leg volume and the sensation of discomfort is investigated.

## Patients and methods

### Study design

The study was performed at the Clinic and Polyclinic for Skin Diseases of the University Medical Center Greifswald.

**Table I.** Inclusion and exclusion criteria as a requirement for study participation

Inclusion criteria	Exclusion criteria
Venous health of the subjects	Acute deep vein thrombosis
Willingness and ability of the study participants to follow the instructions of the physician	Arterial occlusive diseases
Age between 18 and 80 years	Diabetes mellitus with neuropathy, or peripheral arterial circulatory disturbance.
Presence of the written informed consent for participation in the study	Nonexistent mobility
Sufficient German language skills, both written and spoken	Lymph vessel insufficiency
	Pregnancy

It is a non-randomized, controlled study on 15 venous-healthy volunteers. The study included two visits. Firstly, each subject appeared for a screening visit. A standing exercise was performed at the day of the second visit.

### Screening visit

The study participants were informed in detail about the study procedure and the data collected about them during the screening visit. Written informed consent was then obtained, and inclusion and exclusion criteria were checked (Table I). Medical history and physical examination were performed to assess venous or other preexisting diseases. The screening visit also included a dynamic venous function test with digital photoplethysmography, in which subjects were each tested to show a venous refill time of >25 s to demonstrate venous health.

### Procedure of the experiment and measurements

All measurements took place at the same time of day, between 10 a.m. and 2 p.m. The standardized room temperature was in the range of 19–21 °C. Each experiment started with a lying time of 10 min for each participant. The legs were elevated 30° to the horizontal level. Afterwards, the subjects performed the standing period for 15 min. The volume of the lower legs was measured with the Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Germany) at the beginning and then at two-minute intervals. The subjects stood on the rotating platform of the Bodytronic 600 for the entire test procedure. All volume measurements were performed on the right leg only. The subjects were verbally asked about their general leg discomfort and current urge to move at the beginning of the experiment and then at two-minute intervals, using the numerical rating scale (NRS) from 0 to 10. In this context, “zero” implied the absence of sensation of discomfort/urge to move and “ten” implied the highest degree of sensation of discomfort/urge to move. The subjects performed a practiced movement immediately after the 15 min standing period to activate the leg muscles and, by so doing, improve venous return [12]. This movement involved lifting and simultaneously bending each leg to a 90° angle at the hip and knee joints. The foot was dorsiflexed in each case on the swinging leg. Subjects were also asked to perform plantar flexion on the standing leg. The movement was

performed five times with each leg alternatively. This movement sequence lasted 15 s. Immediately after the subject’s movement, the lower leg volume, sensation of discomfort and urge to move were measured for the last time. The measurement sequence can be understood with the help of Figure 1.

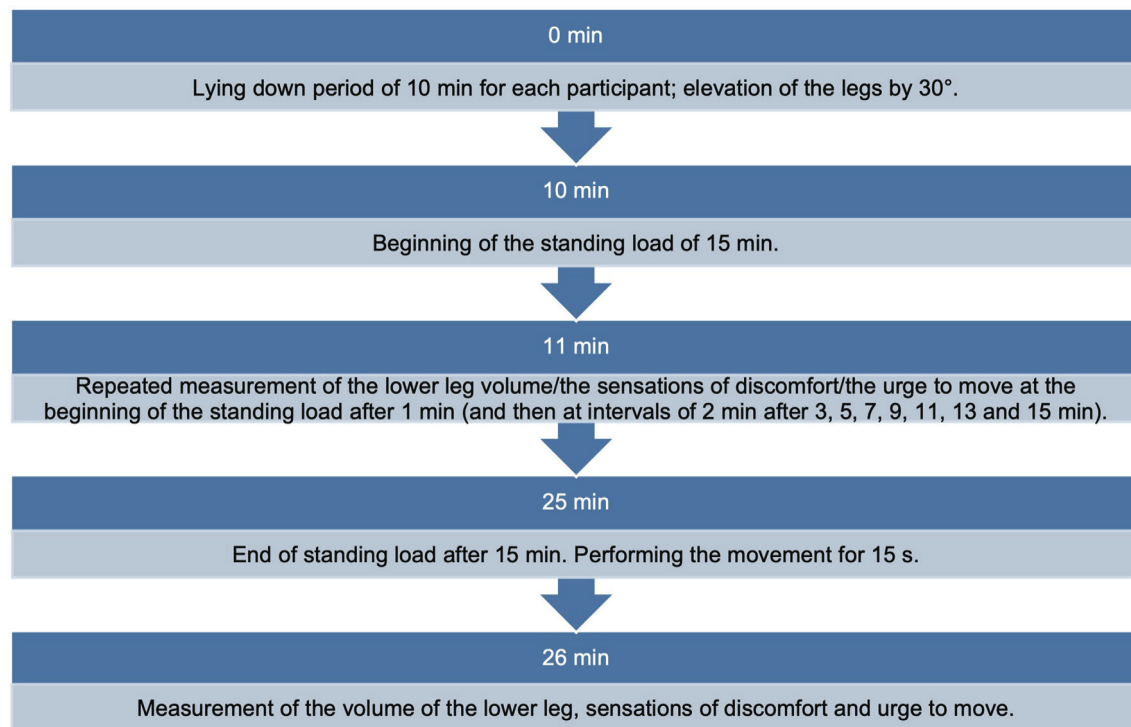
### Optical three-dimensional volume measurement system for determining the circumference and volume of the lower legs

The Bodytronic 600 was used to measure the volume of the lower legs. This device uses a light grid to create a three-dimensional (3D) model of the subject’s feet, lower legs and thighs. Accordingly, light beams from an LED light source (wavelength 460±20 nm) are projected onto the skin of the subject’s legs in the form of stripes and grids. These are read digitally and combined by the software to form a 3D image. The test subjects are positioned on a rotating plate during the measurement. The plate rotates 360° within about 50 s. Measurement errors are, thus, minimized [13, 14]. A handrail is attached to the rotating plate that moves simultaneously. Each subject was asked to hold onto it during the measurements and the standing load. The position of the feet on the platform is defined by markings. The resulting data were used to determine the volume of the legs during the standing load performed by each subject. Consequently, the measurement was performed every 2 min in order to be able to measure the change in the lower leg volume of the subjects steadily (Figure 1). Tischer et al. [14] investigated the effectiveness and precision of the circumference and volume measurement of the Bodytronic 600 in comparison to computed tomography and rated the measurement procedure as accurate and reliable (coefficients of variation for leg and foot circumference of 0.3–2.0% and leg volume of ≤2.5%). They recommend the method for measurements that require rapid and accurate recording of leg circumference and volume in both research and diagnostic applications [14].

### Statistics

Statistical data were collected using a Microsoft Excel spreadsheet. Analysis functions of Microsoft Excel





**Figure 1.** Experimental flowchart with standing load for 15 min performed in 15 study participants with a leg movement exercise at the end of the experiment.

(Microsoft Corporation, Redmond, USA), the statistical software JMP (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA), and R (R Core Team 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) were used for the analysis of these data. Furthermore, the three additional packages “Philipp Schauburger and Alexander Walker (2020). openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. R package version 4.2.3.”, “Yihui Xie (2021). knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R. R package version 1.33”, “Stefano Meschiari (2015). latex2exp: Use LaTeX Expressions in Plots. R package version 0.4.0.” were used. Paired one-tailed T-tests were performed to test for an increase of volume, the urge to move and the different sensations of discomfort over time within the 15 min standing period. In addition, the relationship between the lower leg volume, the sensation of discomfort and the urge to move of the study participants were investigated. Accordingly, Pearson’s correlation coefficients were calculated for every single subject between the increase in the volume of the lower leg and the occurrence of sensations of discomfort and between the increase in the volume of the lower leg and the urge to move in the standing period. Individual correlation coefficients were presented as boxplots. Furthermore, two linear mixed models were conducted to test whether the relationship between the above mentioned variables is causal. Linear mixed effects models include fixed effects and individual or cluster-specific random effects. The advantage is, that they can also be applied to repeated observations of individuals in longitudinal studies or to the analysis of cluster data [15]. The first model was performed to investigate the

influence of lower leg volume increase on the occurrence of discomfort within the standing period. The dependent variable was ‘leg discomfort’. In the second model the influence of lower leg volume increase on the urge to move was tested with ‘urge to move’ as dependent variable. The fixed variable in both models was the ‘change in lower leg volume’. The subject ID was chosen as a random variable by normalizing the lower leg volume by the individual baseline value at minute 1 of each experiment.

## Ethics committee

The study was ethically evaluated (Ethics Committee of the Medical Faculty of the University of Greifswald, BB 061/17). It was registered at the German Register of Clinical Studies (DRKS) with the ID: DRKS00013066.

## Results

### Study participants

Fifteen participants with an average age of 22.7 years (SD: 1.79) and an age range from 20 to 27 years were included in the study. There were 8 male and 7 female subjects. The mean body mass index of the subjects was 23.39 (SD: 1.57). The inclusion and exclusion criteria are shown in Table I. Each subject included was able to perform in all phases of the study. There were no exclusions. All measurements were taken on the right leg only.

## Lower leg volume

The lower leg volume increased in the right leg by an average of 63 ml ( $p < 0.001$ ) during the standing load (Figure 2). The lower leg volume was reduced by 6 ml (not significant) during the movement following the standing load.

## Sensations of discomfort

The sensations of discomfort during the standing period increased by a mean of 3.46 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) (Figure 2). The sensations of discomfort after the movement were reduced by 1.67 points on the NRS ( $p < 0.001$ ).

## Urge to move

Participants' urge to move increased to 3.47 points on the NRS during the standing load ( $p < 0.001$ ) (Figure 2). The urge to move after the exercise was reduced by 2.40 points on the NRS ( $p < 0.001$ ).

## Correlations between the individual parameters

Correlations of the lower leg volume with sensations of discomfort and the urge to move were performed for each individual subject to investigate the relationship between the individual parameters. It was found that the increase in lower leg volume was significantly correlated with the sensations of discomfort experienced in 9 out of 15 subjects ( $p < 0.05$ ) (Figure 3a). It was also discovered that the increase in the lower leg volume was significantly correlated with the perceived urge to move in 11 out of 15 subjects ( $p < 0.05$ ) (Figure 3b).

## Linear mixed effects models

The linear mixed models did show an association between the changes in the volume of the lower leg and the changes in the sensations of discomfort/the urge to move in the standing period that implies a causal relationship in this controlled setting. The results are shown in Table II.

## Discussion

Prolonged standing leads to an increase in the volume of the leg and the occurrence of sensations of discomfort [1, 2, 5, 6, 7, 16, 17]. This has already been shown by several authors. An increase in the lower leg volume and sensations of discomfort were achieved by a standing load of 10 min in two studies by Blättler et al. [5, 16]. Lin et al. demonstrated that a standing load of 4 h led to an increase in the volume and discomfort in the legs [18]. The increase in the lower leg volume and the occurrence of leg discomfort measured

demonstrated in the study performed here fit well within this existing consensus.

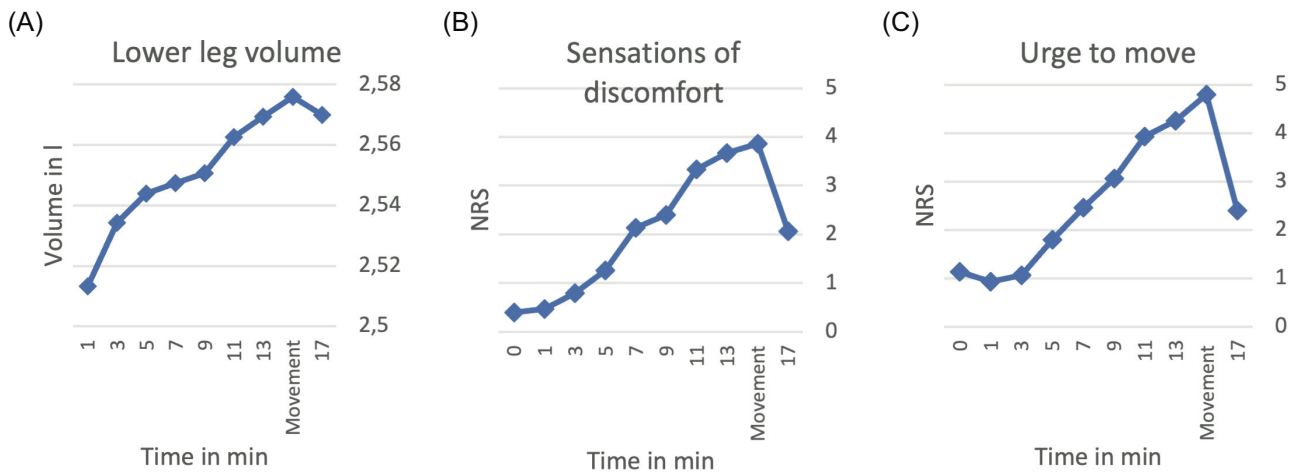
In contrast to the experiments in previous studies, a measurement of the urge to move (Figure 2) was also performed in the present study. The increase in the urge to move detected showed the same dynamics as the change in the sensations of discomfort and confirmed the increase in discomfort measured.

It has not yet been fully clarified whether there is a relationship between the increase in the lower leg volume and the increase in discomfort in the context of the standing load. This issue has been investigated in several studies by Blättler et al. [5, 16]. The experimental design was similar to the study performed here. The mean age (34.4 years) of the participants in Blättler et al. was greater than in the present study (22.7 years) and the body mass index was also higher (25 in Blättler et al. and 23.4 here). In this context, Blättler et al. discovered that a correlation between the increase in the lower leg volume and the increase in sensations of discomfort with a standing load did not exist [5, 16]. They calculated the correlations between the mean values of the discomfort and the mean values of the leg volume of all subjects using the Spearman correlation coefficient. By contrast, a significant correlation between the increase in the lower leg volume and the occurrence of discomfort was demonstrated in 9 out of 15 subjects in the study performed here (Figure 3a). Unlike Blättler et al., Pearson's correlation coefficients between the parameters mentioned previously were calculated for each individual subject. Thus, a mathematical correlation between the volume increase and the sensation of discomfort developing could be regarded in the majority of the subjects. In order to clarify a causal relationship between leg volume and changes in discomfort, statistical analysis on repeated measures ("mixed model") was carried out. Based on the data presented here, a causal relationship is indicated. This is inconsistent with the results of Amsler and Blättler [5].

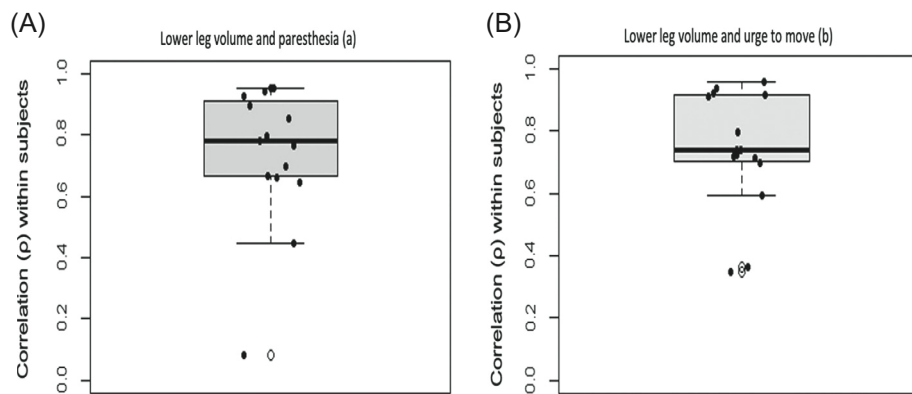
The occurrence of the sensation of discomfort or the urge to move during the standing load in individual participants in the study performed here was significantly milder than in other participants, or hardly even present. The reason for this is probably the different subjective perception of stimuli, such as the development of edema. Each subject has a different level of self- and body-awareness. The functions of nerve endings are different in each person, resulting in an unequal tolerance for sensations of discomfort and the urge to move [19]. Accordingly, the differences in correlation coefficients between subjects would also be explained.

Further research was done by Lin et al. [18]. They were able to demonstrate a correlation between the increase in the volume and discomfort in the lower legs during a standing period lasting 4 h. The mean values of all subjects were formed for the lower leg volume and the discomfort to calculate the Pearson's correlation coefficient.

In the end, it can be argued that there is a correlation between the volume increase and the development of discomfort due to standing loads, although not in all people.



**Figure 2.** Average values of the lower leg volume, the sensation of discomfort and the urge to move during 15 min of standing period in 15 study participants. A defined leg movement was performed after the standing load.



**Figure 3.** Boxplot of the individual correlations (rho) of the volume of the lower leg with paresthesia (a) and the urge to move (b) during an orthostatic stress test lasting 15 min in 15 study participants. The volume of the lower leg (in l), the paresthesia and the urge to move (in arbitrary units 0–10 on the NRS) were measured/collected at 2-min intervals. A total of 9 out of 15 correlations (a) and 11 out of 15 correlations (b) were significant ( $p < 0.05$ ).

**Table II.** Linear mixed models with the dependent variables: sensation of discomfort (NRS) and urge to move (NRS). The fixed effect was the lower leg volume (normalized to the baseline value of each subject). The subject ID was used as a random effect

Fixed effects	Estimated value	Standard error	t-value	p-value
Sensation of discomfort (NRS) explained by lower leg volume change (%), random effect: subject ID				
Volume (percent)	50,6838	8,8391	5,734	9,80E-09
Urge to move (NRS) explained by lower leg volume change (%), random effect: subject ID				
Volume (percent)	71,9165	9,4355	7,622	2,51E-14

However, further studies are needed to investigate whether the causality of this relationship can be demonstrated. Metabolic processes at the molecular biological level should also be included. Overall, it is difficult to correlate subjective expressions, such as pain and the urge to move, with objective measurement results, such as the increase in volume. One way of positively influencing leg complaints has been investigated in the targeted activation of the muscle pump by performing a fixed sequence of movements. Our study showed that the movements performed were

able to reduce the occurrence of discomfort and the urge to move of the test subjects significantly (Figures 3a and 3b). These results are similar to those of the study by Lin et al. [18]. They also demonstrated that half-hourly movements resulted in a smaller increase in leg discomfort when subjects had been standing for 4 h. In their experiment, subjects pulled their toes (ankle movement) or lifted their legs at the hip joint (hip movement) for 2 min, then stood for 1 min before performing the movement (ankle or hip) again for another 2 min. By contrast, the movement in

the study performed here was slightly more comprehensive in comparison because several joints were bent simultaneously.

A decrease in the lower leg volume of the subjects was also observed as an effect of the movement in the study performed here (Figure 2). However, this was not statistically significant. In this context, Stick et al. [8, 9] succeeded in two studies in significantly demonstrating a preventive effect of movement on edema formation in the legs. After performing standing period for 10 and 12 min, riding an ergometer for 20 min showed a reduction in the leg volume of  $-1.6$  and  $-1.1\%$ . Comparing our study with that of Stick et al., the different rate of decrease in the leg volume seems to be due to the unequal duration of exercise. During the standing test in the study performed here, the lack of activity of the muscle pump combined with the decreased venous return led to an increase in hydrostatic pressure in the capillary area. According to the Sterling equation, the balance in the capillaries shifts in favor of filtration across the vascular barrier, resulting in a decreased reabsorption of fluid. During standing without movement, the consequence is interstitial edema [20]. A movement sequence of 15 s at the end of the standing period, as performed in our study, has no relevant influence on the volume already filtered into the interstitium, and can only decrease the volume of the veins by using the muscle pump. Therefore, the volume decrease due to exercise measured in our study was only small. Steady exercise lasting 20 min, as in Stick et al. [8, 9], provides a longer-lasting reduction in hydrostatic pressure in the capillary area, thus, helping to reduce the interstitial edema and, consequently, affecting the leg volume in a relevant and more measurable way. The removal of the interstitial edema can be done through the lymphatic vessels as well and is also supported by the constant muscle activity of the ergometer.

An effect of movements on the leg volume could also be shown by Seo et al. [10, 11]. They found that subjects who stood still for 30 min during standing work developed greater swelling in the lower legs (6.9%) than those who were allowed to move during work (3.7%). Muscular activity was able to reduce leg swelling here by 3.2%. Summarizing the studies mentioned above, a positive influence of different types of exercise on the leg volume has been observed.

## Limitations

The assumption concerning the reduction of the lower leg volume due to the movement at the end of the standing load could be confirmed but without significance. The mean volume reduction of 6 ml measured was too small for a significant effect and, in some subjects, no volume reduction could be detected at all. A measurement duration of about 50 s with the Bodytronic 600 was too long to be able to detect the expected effect of the volume reduction because the physiological refilling time of the veins is  $\geq 25$  s, but in many cases remains below 50 s. [21, 22]. Thus,

the blood that has been pumped out of the veins has already been refilled at the end of the measurement. The recording of the intensity of the subjects' sensations of discomfort and urge to move was done verbally on demand with the NRS and without the use of a visual scale. Although the NRS is considered very valid and reliable [23], a scale completed by the subjects themselves with visual illustration of the range of response options, such as the VAS, could have simplified the assessment of symptoms for the subjects and increased the accuracy of the ratings to avoid any kind of bias.

## Conclusions

Prolonged standing with lack of movement leads to an increase in the lower leg volume and sensations of discomfort in venous-healthy subjects. A correlation between the increase in the volume and the development of lower leg discomfort can be mathematically demonstrated in the majority of cases. The association between the volume of the lower leg and the sensations of discomfort/ the urge to move that was shown by the linear mixed model in presented study implies a causal relationship in this controlled setting. Certain movements lead to a decrease in the lower leg volume and symptoms. Consequently, people with mainly sitting or standing occupational activities should perform intermittent movement exercises during breaks and in their free time, and generally integrate physical activity into their daily routine.

## References

1. Rabe E, Pannier-Fischer F, Bromen K, Schuldt K, Stang A, Poncar Ch, et al. Bonner Venenstudie der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie. Epidemiologische Untersuchung zur Frage der Häufigkeit und Ausprägung von chronischen Venenkrankheiten in der städtischen und ländlichen Wohnbevölkerung. *Phlebologie*. 2003;32(01):1–14.
2. Blazek C, Amsler F, Blaettler W, Keo HH, Baumgartner I, Willenberg T. Compression hosiery for occupational leg symptoms and leg volume: a randomized crossover trial in a cohort of hairdressers. *Phlebology*. 2013;28(5):239–47.
3. Amsler F, Blättler W. Compression therapy for occupational leg symptoms and chronic venous disorders – a meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2008;35(3):366–72.
4. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Grundausswertung der BIBB/BAuA Erwerbstätigenbefragung 2018 Vergleich zur Grundausswertung 2006 und 2012. (2nd rev. ed). Bonn: BIBB; 2019.
5. Blättler W, Thomae HJ, Amsler F. Venous leg symptoms in healthy subjects assessed during prolonged standing. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. 2016;4(4):455–62.
6. Krijnen RM, de Boer EM, Ader HJ, Bruynzeel DP. Diurnal volume changes of the lower legs in healthy males with a profession that requires standing. *Skin Res Technol*. 1998; 4(1):18–23.
7. Pannier F, Rabe E. Optoelectric volume measurements to demonstrate volume changes in the lower extremities during orthostasis. *Int Angiol*. 2010;29(5):395–400.

8. Stick C, Grau H, Witzleb E. On the edema-preventing effect of the calf muscle pump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1989;59(1-2):39-47.
9. Stick C, Hiedl U, Witzleb E. Volume changes in the lower leg during quiet standing and cycling exercise at different ambient temperatures. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1993;66(5):427-33.
10. Seo A, Kakehashi M, Tsuru S, Yoshinaga F. Leg swelling during continuous standing and sitting work without restricting leg movement. *J Occup Health*. 1996;38:186-9.
11. Seo A, Kakehashi M, Uda S, Tsuru S, Yoshinaga F. Bioelectrical impedance measuring method for standing load evaluation. *J Occup Health*. 1995;37:83-7.
12. Streeten DHP. *Orthostatic Disorders of the Circulation*. New York: Plenum Publishing Corporation; 1987.
13. Bauerfeind AG. BODYTRONIC® 600, Messtechnik der nächsten Generation [abgerufen am 14. Juni 2020]. Verfügbar unter <https://www.bauerfeind.de/de/haendler/digitale-messtechnik/details/product/bodytronic-600/>
14. Tischer T, Oye S, Wolf A, Feldhege F, Jacksteit R, Mittelmeier W, et al. Measuring lower limb circumference and volume - introduction of a novel optical 3D volumetric measurement system. *Biomed Tech*. 2020;65(2):237-41.
15. Fahrmeir L, Kneib T, Lang S. *Regression Modelle, Methoden und Anwendungen*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2007.
16. Blättler W, Thomä HJ, Winkler C, Amsler F. Light medical compression stockings reduce complains while standing equally good as tight ones. *Phlebologie*. 2016;45(1):25-8.
17. Lin YH, Chen CY, Cho MH. Influence of shoe/floor conditions on lower leg circumference and subjective discomfort during prolonged standing. *Appl Ergon*. 2012;43(5):965-70.
18. Lin YH, Chen CY, Cho MH. Effectiveness of leg movement in reducing leg swelling and discomfort in lower extremities. *Appl Ergon*. 2012;43(6):1033-7.
19. Fillingim RB. Individual differences in pain responses. *Curr Rheumatol Rep*. 2005;7(5):342-7.
20. Schmidt R, Lang F, Heckmann M. *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. (31st ed). Heidelberg: Springer; 2011.
21. Venöse Diagnostik mit der Licht-Reflexions-Rheographie/ Photoplethysmographie. *Hautarzt*. 1998;48(Suppl 1):64-5.
22. Stücker M, Reich S, Robak-Pawelczyk B, Moll C, Rudolph T, Altmeyer PJ, et al. Changes in venous refilling time from childhood to adulthood in subjects with apparently normal veins. *J Vasc Surg*. 2005;41(2):296-302.
23. Ferreira-Valente MA, Pais-Ribeiro JL, Jensen MP. Validity of four pain intensity rating scales. *Pain*. 2011;152(10):2399-404.

#### History

Submitted: 10.10.2021

Accepted after revision: 20.01.2022


Published online: 10.02.2022

#### Conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

#### ORCID

Wolfgang Korschake

 <https://orcid.org/0000-0003-4860-5925>

#### Correspondence address

Dr. Wolfgang Korschake  
Department of Dermatology  
University Medicine Greifswald  
Ferdinand-Sauerbruchstraße  
17475 Greifswald  
Germany

[wolfgang.korschake@med.uni-greifswald.de](mailto:wolfgang.korschake@med.uni-greifswald.de)

# Influence of compression stockings on the sensation of discomfort and the volume of the lower legs in healthy subjects during standing load

Florian Junge<sup>1</sup>, Wolfgang Korschake<sup>\*,1</sup>, Hermann Haase and Michael Jünger  
*Department of Dermatology, University Medical Center Greifswald, Greifswald, Germany*

## Abstract.

**BACKGROUND:** Edema caused by orthostasis is a common clinical picture in the medical and occupational context. Medical compression therapy with compression stockings (CS) is considered a conservative therapeutic standard in edema therapy. The effect of CS on leg discomfort and the increase of the lower leg volume during a standing load still remains questionable. In addition, it is not entirely known whether there is a correlation between volume increase and discomfort in these individuals.

**METHOD:** A timed, controlled standing load of 15 min was conducted by the participants in this non-randomized controlled study to analyze the change in and correlation between lower leg volume increase and the occurrence of lower leg discomfort under compression therapy. Below-knee CS with an interface pressure of 23–32 mmHg were used. The lower leg volume was measured following previous studies using an optical three-dimensional volume (ml) measurement system, and sensations of discomfort and the urge to move were asked about using a numerical rating scale (NRS) of 0–10. The subjects conducted a leg movement for 15 s immediately after the standing period; the data were collected again subsequently. A correlation was calculated between the lower leg volume and the data regarding the discomfort and urge to move for each participant. The experiments had already been performed as part of a previous study including the same subjects who did not wear CS. The results of the study conducted here were compared with those of the participants who did not wear CS to investigate the effect of the CS.

**RESULTS:** Lower leg volume increased by an average of 27 ml ( $p < 0.001$ ) (without CS: by 63 ml) during standing load in the right leg. During the leg movement after standing load, the lower leg volume increased by 5 ml (n.s.). The sensations of discomfort during the orthostasis increased by 2.6 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) (without CS: by 3.46 points) and decreased by 1.67 points ( $p < 0.001$ ) during the leg movement shortly after the standing period. Participants' urge to move increased by 3.73 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) (without CS: by 3.47 points) while the participants performed the standing period and decreased by 2.73 points ( $p < 0.001$ ) during the final movement exercise. A weakly significant correlation could be demonstrated between the increase in the lower leg volume and the occurrence of discomfort in 6 out of 13 subjects ( $p < 0.1$ ), and between the increase in the lower leg volume and the urge to move in 8 out of 15 subjects ( $p < 0.1$ ).

**CONCLUSION:** Standing loads and lack of movement lead to an increase in the lower leg volume and sensation of discomfort in venous healthy subjects wearing CS, which are reduced by wearing them ( $p < 0.001$ ). A weakly significant mathematical correlation (Pearson's correlation coefficient) could be shown between the increase in the lower leg volume and the occurrence of the urge to move in 8 out of 15 subjects ( $p < 0.1$ ) and between the increase in lower leg volume and the occurrence of leg discomfort in 6 out of 13 subjects ( $p < 0.1$ ).

Keywords: Leg complaints, volume measurements, orthostasis, edema, urge to move, healthy volunteers, lack of movement

<sup>1</sup>Florian Junge and Wolfgang Korschake contributed equally to this manuscript.

\*Corresponding author: Wolfgang Korschake, Department of Dermatology, University Medical Center Greifswald, Greifswald, Germany; E-mail: Wolfgang.Korschake@med.uni-greifswald.de.

## 1. Introduction

Medical compression therapy has been successfully established for a high number of medical treatments. Common indications are the treatment of venous and lymphatic diseases, the prophylaxis of leg vein thrombosis during immobilization and the support of athletes [1–3]. However, compression stockings (CS) are also used more frequently in occupations associated with prolonged orthostasis [4]. According to data collected by the Federal Ministry of Labor and Social Affairs in 2018, 53.5% of the 20,012 people who were surveyed performed their work predominantly in a standing position. Over a quarter (26.7%) of the subjects felt burdened by this [5, 6]. In this context, there are several studies that prove that standing loads lead to an increase of the leg volume and the occurrence of leg discomfort [7–9]. Therefore, people who work in a mostly standing position often suffer from symptoms such as pain and swelling in the legs [10, 11]. The CS can provide some relief because it has been proven that they influence the development of discomfort and edema positively during standing loads [7, 12–14]. Partsch et al. discovered that the wearing of below-knee CS (interface pressure: 23–32 mmHg) significantly reduces the occurrence of discomfort and leg edema at the end of a working day of 7 h [15]. It has also been demonstrated that leg movements have a positive effect on the complaints named in subjects who did not wear CS [16–19]. Accurate analyses of the effect of CS on the development of discomfort and edema continue to be of high interest because of the high degree of discomfort associated with standing loads. It has also not been fully clarified whether there is a relationship between the development of edema and the occurrence of discomfort associated with standing loads in subjects wearing CS. Therefore, the increase in the lower leg volume and the change in discomfort and urge to move in subjects fitted with below-knee CS (interface pressure: 23–32 mmHg) during an experimental standing period will be investigated in the Study performed here. Subsequently, it will be analyzed whether the change of the lower leg volume has an effect on the increase of discomfort or urge to move. The data collected during the standing load under CS treatment will also be compared with data from the same experiments including the same subjects without wearing CS, published in a previous study [20].

## 2. Methods and materials

### 2.1. Study design

The study was conducted at the Clinic and Polyclinic for Skin Diseases of the University Medical Center Greifswald. It is a non-randomized, controlled study with 15 subjects. All participants were venous healthy. The CS were worn during the trials. They were used as below-knee CS with an interface pressure of 23–32 mmHg, made by Bauerfeind (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Germany). The study involved two visits. Each subject started with the screening visit. The standing exercise was performed on the day of the second visit. All of the experiments had already been performed as part of another study including the same participants who did not wear CS. The results of the study conducted here were compared with those of the participants who did not wear CS to investigate the effect of wearing CS [20].

### 2.2. Screening visit

The participants of the study were informed at the screening visit in a detailed manner about the data they would be required to obtain and about the procedure of the experiments. This was followed by a review of the inclusion and exclusion criteria, and the provision of written informed consent by

Table 1

Inclusion and exclusion criteria as a condition for study participation. This table was used in a previous experiment [20]

Inclusion criteria	Exclusion criteria
Venous health of the subjects	Acute deep vein thrombosis
Willingness and ability of the study participants to follow the instructions of the physician	Arterial occlusive diseases
Age between 18 and 80 years	Diabetes mellitus with neuropathy, or peripheral arterial circulatory disturbance.
Presence of the written informed consent for participation in the study	Nonexistent mobility
Sufficient German language skills, both written and spoken	Lymph vessel insufficiency Pregnancy

the subjects (Table 1). A physical examination and medical history were conducted to evaluate venous or other preexisting diseases. Subjects were each required to achieve a venous refill time of >25 s during a dynamic venous function test with digital photoplethysmography to ensure venous health. In addition, measurement of the legs was performed with an optical, three-dimensional (3D) volume measurement system.

### 2.3. Procedure of the experiment and measurements

The CS were worn during the standing load. They were used as below-knee CS with an interface pressure of 23–32 mmHg. The experiments were similar to a previous study where the same subjects were tested without CS [20]. The participants lay down for 10 min at the beginning of each experiment. Both legs were elevated at 30° to the horizontal plane. Subsequently, the subjects put on the CS before the beginning of the standing load. Immediately afterwards, the standing load of 15 min began. The lower leg volume was measured with the Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Germany) at the beginning and then every 2 min. Participants stood on the rotating plate of the Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Germany) for the entire time of the experiment. All measurements of the lower leg volume were taken on the right leg only. Questions about the general discomfort in the legs and the current urge to move were asked orally at the beginning of the standing load and then at intervals of 2 min and the responses were rated on the numerical rating scale (NRS) from 0–10. “Zero (0)” in the questionnaires was equivalent to no sensation of discomfort/urge to move and “ten (10)” was equivalent to the highest level of sensation of discomfort/urge to move [20]. The participants performed a previously learned leg movement shortly after the standing period of 15 min to stimulate venous return by activating the leg muscles [21]. This movement sequence involved bending and simultaneously lifting the swing leg to a 90° angle at the knee and hip joints. The foot on the swing leg was additionally dorsiflexed. Subjects were asked to perform plantar flexion on the standing leg. The movement sequence was performed five times with each leg in turn. The movement lasted 15 s. Subsequently, the lower leg volume, discomfort and urge to move were measured again. The temperature of the examination room was standardized to 19 to 21°C during all experiments. The measurement procedure is illustrated in Fig. 1.

### 2.4. Compression stockings

The Venotrain Soft S model of compression class II with an interface pressure of 23–32 mmHg, made by Bauerfeind (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Germany), was used as a below-knee stocking to



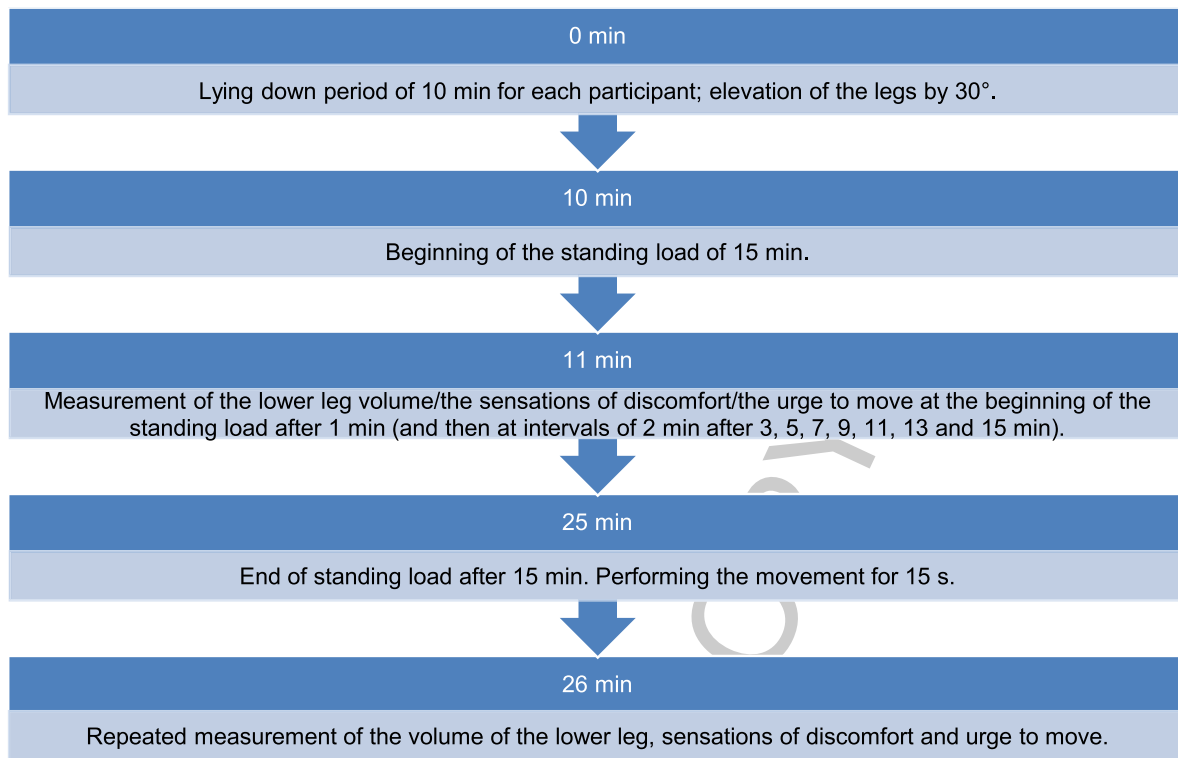


Fig. 1. Organigram of the temporal experimental procedure of standing load for 15 min with 15 study participants, with a physical exercise at the end of the experiment. The organigram was shown in a previous experiment [20].

investigate the influence of CS on the above-mentioned parameters. The stockings were put on after the lying down phase, immediately before the standing load.

### 2.5. Optical three-dimensional volume measurement system for determining the circumference and volume of the lower legs

This device creates a 3D model of the subject's limbs by projecting a light grid. Accordingly, light streams from an LED light source (wavelength  $460 \pm 20$  nm) are projected onto the skin of the participant's legs in the form of stripes and grids. These are registered by a camera and a 3D image is created from them. The test subjects are placed on a rotating platform during the procedure. The plate rotates  $360^\circ$  in 50 s. This reduces the risk of false measurements [22, 23]. There is a handrail on the rotating plate that rotates with it to aid stability and the test participants were asked to hold on to it during the measurements and the standing load. Markings are located on the rotating plate to guide the location of the feet. The device was used for the volume measurement of the lower legs. The measurement was performed every 2 min to determine the lower leg volume (Fig. 1). Tischer et al. [23] recommended the measurement method in their study with the aim of a fast and accurate recording of the leg circumference and volume in research and diagnostics. In this context, the Bodytronic 600 (Bauerfeind AG, Zeulenroda, Germany) was compared with computed tomography and classified as valid and reliable (coefficients of variation for leg and foot circumference of 0.3–2% and for leg volume of  $\leq 2.5\%$ ).

### 2.6. Questionnaires to identify stasis-related complaints

The questionnaires were designed to evaluate the change in the sensation of discomfort and the urge to move during the standing period and had been used in a previous study [20]. The questions were

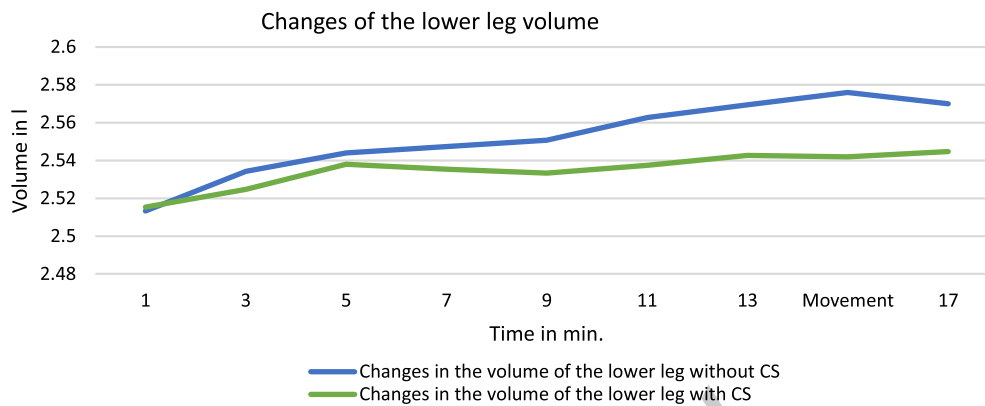


Fig. 2. Illustration of the mean changes in lower leg volume with and without the CS (in l) during a standing load of 15 min with 15 study participants. The lower leg volume was measured at the beginning of the standing period and then every 2 min. A leg movement was performed after the standing load. Subsequently, a repeated measurement of the lower leg volume was performed. A significantly reduced increase in volume was observed under CS compared to subjects who did not wear compression hosiery ( $p < 0.001$ ). Compare with Junge et al. [20].

answered orally. The answers were objectified with the NRS from 0–10. The participants were asked the questions once at the beginning of the standing time and then at intervals of 2 min.

## 2.7. Statistics

A Microsoft Excel spreadsheet was used to collect the statistical data, similar to an earlier experiment with the same subjects [20]. The analysis function of Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA), the statistical software R Core Team 2020 (A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) and JMP (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA) were used for the analysis of these data. In addition, the three supplementary packages “Philipp Schauburger and Alexander Walker (2020). openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. R package version 4.2.3,” “Yihui Xie (2021). knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R. R package version 1.31” and “Stefano Meschiari (2015). latex2exp: Use LaTeX Expressions in Plots. R package version 0.4.0.” were used. Paired one-sided  $T$ -tests were conducted to analyze the increase and decrease of the lower leg volume over time, the urge to move and the sensations of discomfort while wearing the CS. In addition, Pearson’s correlation coefficients between the increase in the volume of the lower leg and the occurrence of discomfort and between the increase in the lower leg volume and the urge to move were calculated for each subject. The correlation coefficients were visualized in boxplots. All of the data mentioned above had already been measured as part of another study including the same participants who did not wear CS [20]. Paired samples  $t$ -tests were used to compare the results of the study conducted here with those of the participants who did not wear CS. The measured values for the lower leg volume, the sensation of discomfort and the urge to move without CS are mentioned in the results and are shown in Figs. 2, 3 and 4.

## 2.8. Ethics committee

An ethical evaluation of the study was undertaken (Ethics Committee of the Medical Faculty of the University of Greifswald, BB 061/17). The study was registered at the German Register of Clinical Studies (DRKS) with the registration number DRKS00013066.

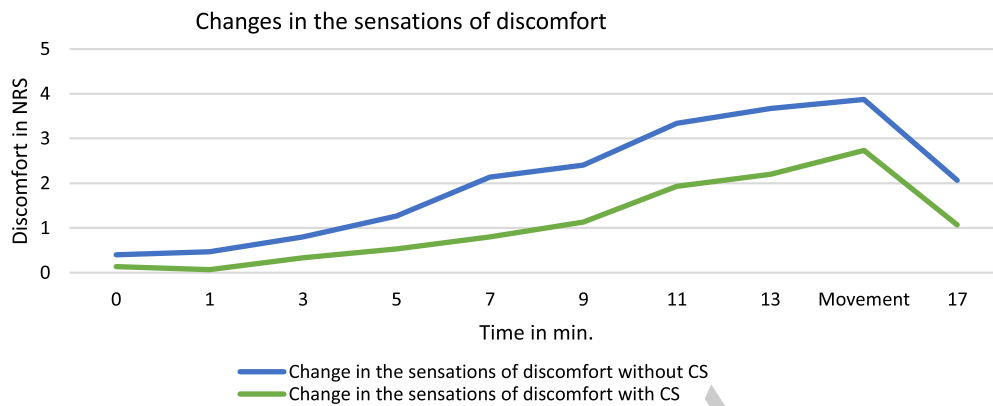


Fig. 3. Illustration of the mean changes in sensations of discomfort with and without the CS (in 1) during a standing load of 15 min with 15 study participants. The sensations of discomfort were measured at the beginning of the standing period and then every 2 min. A leg movement was performed after the standing load. Subsequently, a repeated measurement of the sensations of discomfort was performed. A significantly reduced discomfort was observed under CS compared to subjects who did not wear compression hosiery ( $p < 0.001$ ). Compare with Junge et al. [20].

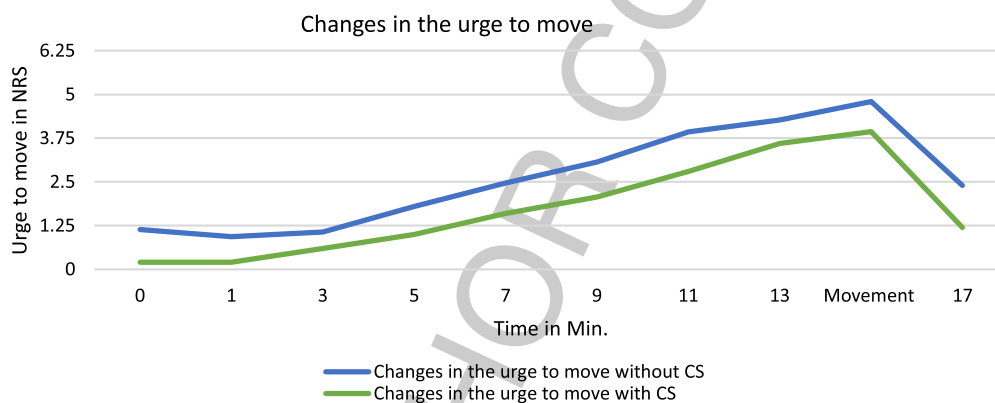


Fig. 4. Illustration of the mean changes in the urge to move with and without the CS (in 1) during a standing load of 15 min with 15 study participants. The urge to move was measured at the beginning of the standing period and then every 2 min. A leg movement was performed after the standing load. Subsequently, a repeated measurement of the urge to move was performed. A significantly reduced urge to move was observed under CS compared to subjects who did not wear compression hosiery ( $p < 0.001$ ). Compare with Junge et al. [20].

### 3. Results

#### 3.1. Study participants

There were 15 subjects included in the study, who were the same participants as in a previous study [20]. The mean age was 22.7 years (SD: 1.79) and the age range of the subjects was between 20 and 27 years. Eight subjects were male and seven were female. The mean BMI of the participants measured 23.39 (SD: 1.57). The inclusion and exclusion criteria are shown in Table 1. No participant was excluded during the period of the study. Each measurement was taken on the right leg only.

#### 3.2. Lower leg volume

Lower leg volume with applied CS increased by a mean of 27 ml ( $p < 0.001$ ) (without CS: by 63 ml [20]) during the standing period in the right leg (Fig. 2). The lower leg volume increased by 5 ml during

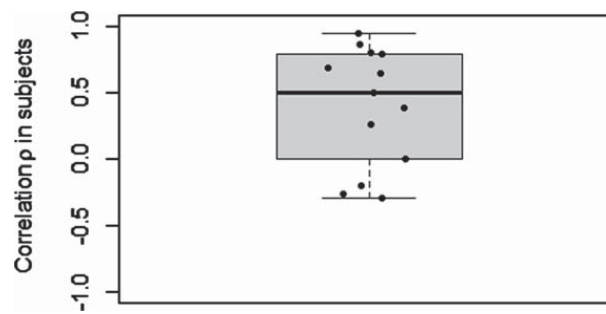


Fig. 5. Illustration of the correlations ( $\rho$ ) of the volume of the lower limb with CS and paresthesia with CS during an orthostatic stress test of 15 min with 15 study participants. The volume of the lower limb (in l) and paresthesia (in arbitrary units 0–10 on the NRS) were measured/collected at intervals of 2 min. Below-knee compression stockings (CS; 23–32 mmHg) were worn. Six out of 13 correlations were weakly significant ( $p < 0.1$ ). Two subjects were excluded because no increase of paresthesia was seen during the prolonged standing.

the leg movement immediately after the standing load. However, this result was not significant and is, therefore subject to a high probability of error.

### 3.3. Sensations of discomfort

While the subjects took part in the standing period, the mean increase of the sensations of discomfort was 2.6 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) (without CS: 3.46 points [20]) (Fig. 3). Immediately after the legs were moved, the sensations of discomfort decreased by 1.67 points on the NRS ( $p < 0.001$ ).

### 3.4. Urge to move

The participants' urge to move during the standing period increased by 3.73 points on the NRS ( $p < 0.001$ ) (without CS: by 3.47 points [20]) (Fig. 4). The urge to move during the leg movement decreased by 2.73 points on the NRS ( $p < 0.001$ ).

### 3.5. Relationships between the individual parameters

Correlations of the lower leg volume with sensations of discomfort and lower leg volume with the urge to move were conducted to analyze the dependencies of the individual parameters with tightened CS. It was demonstrated that the correlation between the increase in the lower leg volume and the perceived sensations of discomfort was weakly significant in 6 out of 13 participants ( $p < 0.1$ ; Fig. 5). It was also shown that the correlation between the increase in the lower leg volume and the urge to move experienced was weakly significant in 8 out of 15 participants ( $p < 0.1$ ; Fig. 6). The individual correlation coefficients of the parameters can be seen in Tables 2 and 3.

### 3.6. Comparison with subjects who did not wear compression stockings

All of the experiments mentioned above had already been performed as part of another study including the same participants who did not wear CS. The results of the study conducted here were compared with those of the participants who did not wear CS. It was found that the CS had a significant impact on the leg volume ( $p < 0.001$ ), and there were significantly reduced discomfort and urge to move when wearing the CS ( $p < 0.001$ ). Consequently, Figs. 2, 3 and 4 also show the data measured from the comparative study. The data of the comparative study have been published in another paper [20].

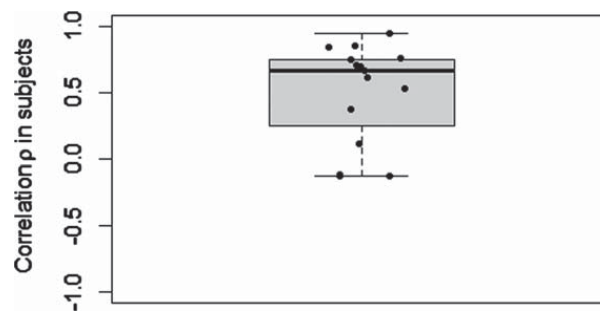


Fig. 6. Illustration of the correlations ( $\rho$ ) of the volume of the lower limb with CS and urge to move with CS during an orthostatic stress test of 15 min with 15 study participants. The volume of the lower limb (in l) and urge to move (in arbitrary units 0–10 on the NRS) were measured/collected at intervals of 2 min. Below-knee CS (23–32 mmHg) were worn. Eight out of 15 correlations were weakly significant ( $p < 0.1$ ).

Table 2

Correlations ( $\rho$ ) of the volume of the lower limb with CS and paresthesia with CS during an orthostatic stress test of 15 min with 15 study participants. The volume of the lower limb (in l) and paresthesia (in arbitrary units 0–10 on the NRS) were measured/collected at intervals of 2 min. Below-knee CS (23–32 mmHg) were worn. Six of 13 correlations were weakly significant ( $p < 0.1$ ). Two subjects were excluded because no increase of paresthesia was seen during the prolonged standing

ID	Correlation	$p$ -value
1	0.25820	0.53696
2	0.86603	0.00542
3	0.78621	0.02068
4	-0.19558	0.64253
5	0.94974	0.00031
6	0.49955	0.20751
7	0.80004	0.01711
10	-0.26013	0.53381
11	0.68783	0.05936
12	0.00000	1.00000
13	0.38100	0.35175
14	-0.29277	0.48162
15	0.64550	0.08386

#### 4. Discussion

The study revealed that orthostatic edema and discomfort in the legs are caused by prolonged standing with a lack of movement. This agrees with a number of former studies [7–10, 12, 24, 25]. The results of the study were compared with those a comparative study without CS [20] to evaluate the effect of CS. It was demonstrated that below-knee CS (interface pressure: 23–32 mmHg) reduced the volume increase of the lower legs and the orthostatic-triggered discomfort. Almost same results were obtained in several studies [10–15, 26, 27]. Similar experiments were performed by Blättler et al. [7, 12] with the difference that the standing time in Blättler and colleagues' experiments was five minutes shorter (10 instead of min). In contrast to experiments conducted so far, the present study additionally included a measurement of the urge to move (Fig. 4), which showed the dynamics of the sensations of discomfort (Fig. 3). In the study conducted here, it was possible to demonstrate a weakly significant

Table 3

Correlations ( $\rho$ ) of the volume of the lower limb with CS and urge to move with CS during an orthostatic stress test of 15 min with 15 study participants. The volume of the lower limb (in l) and urge to move (in arbitrary units 0–10 on the NRS) were measured/collected at intervals of 2 min. Below-knee CS (23–32 mmHg) were worn.  
Eight out of 15 correlations were weakly significant ( $p < 0.1$ )

ID	Correlation	<i>p</i> -value
1	0.37796	0.35592
2	0.85280	0.00712
3	0.69662	0.05489
4	0.53171	0.17501
5	0.94974	0.00031
6	0.61699	0.10321
7	0.83806	0.00937
9	0.70279	0.05188
10	-0.11471	0.78680
11	0.75107	0.03172
12	-0.12906	0.76069
13	0.11235	0.79111
14	-0.12403	0.76981
15	0.67082	0.06861
19	0.75525	0.03025

correlation between the increase in the lower leg volume and the change in the sensation of discomfort or urge to move for individual participants. Such a correlation was negated in Blättler et al. [7, 12]. In Blättler's experiments, the standing load of 10 min was performed without and then also with CS. The CS in Blättler's experiments had an interface pressure of 10–15 and 23–32 mmHg. The correlations were calculated for the participants once with CS and once without CS. The Spearman's correlation coefficient was used for this purpose. In the study performed here, the Pearson's correlation coefficient was used and, furthermore, the correlation coefficients were calculated for each individual participant and the mean values of all participants for lower leg volume and the discomfort were not used as they were in Blättler et al. [7, 12]. Similar to the comparative study without CS conducted previously [20], the experiments in the study here showed a mathematical relationship between the volume increase and developing sensations of discomfort in a few participants, but whether participants with a greater volume increase also showed a higher level of discomfort in terms of univariate or multivariate models was not investigated. Therefore, no conclusive statement can yet be made about causal relationships between volume and discomfort. Therefore, further investigations are necessary in which, for example, metabolic processes and the genesis of discomfort and pain in the tissue are also considered on the molecular-biological level. Similar to the comparative study [20], the present study also investigated the effectiveness of leg movement sequences in reducing sensations of discomfort and the urge to move. It was shown in both experiments that the discomfort of the legs and urge to move were significantly reduced by the exercise performed. Other studies, such as Lin et al. [28], confirmed these results and showed that half-hourly movements reduced leg discomfort significantly when standing for 4 h.

## 5. Summary

Orthostatic stress and motionless standing led to an increase in the lower leg volume, discomfort and urge to move in venous-healthy subjects. The below-knee CS (interface pressure: 23–32 mmHg)

reduced the orthostatic-induced volume increase and orthostatic-triggered complaints. Physical leg movement reduced the discomfort associated with standing. A possible relationship between the change of the lower leg volume and the occurrence of discomfort in the lower legs could be mathematically demonstrated in some subjects.

## References

- [1] Mota GR, Simim MAM, Dos Santos IA, Sasaki JE, Marocolo M. Effects of wearing compression stockings on exercise performance and associated indicators: a systematic review, *Open Access Journal of Sports Medicine*. 2020;11:29-42.
- [2] Korschake W, Riebe H, Padiaditi P, Haase H, Jünger M, Lutze S. Compression in the treatment of chronic venous insufficiency: efficacy depending on the length of the stocking, *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 2016;64:425-34.
- [3] Riebe H, Korschake W, Westphal T, Jünger M. Innovationen der medizinischen Kompressionstherapie [Innovations in medical compression therapy], *Der Hautarzt*. 2020;71:24-31 (in German).
- [4] Guedes PM, Saldanha NA, Matos PM, Carvalho FS, Veiga G, Norton P. Occupational leg edema-use of compression stockings, *Porto Biomedical Journal*. 2020;5:e093.
- [5] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Grundausswertung der BIBB/BAuA Erwerbstätigenbefragung 2018 Vergleich zur Grundausswertung 2006 und 2012, 2nd revised edition, Dortmund/Berlin/Dresden, 2019 (in German).
- [6] Statistisches Bundesamt, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Erwerbsbeteiligung der Bevölkerung Ergebnisse des Mikrozensus zum Arbeitsmarkt (in German).
- [7] Blättler W, Thomae HJ, Amsler F. Venous leg symptoms in healthy subjects assessed during prolonged standing, *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*. 2016;4:455-62.
- [8] Pannier F, Rabe E. Optoelectric volume measurements to demonstrate volume changes in the lower extremities during orthostasis, *International Angiology*. 2010;29:395-400.
- [9] Krijnen RM, de Boer EM, Ader HJ, Bruynzeel DP. Diurnal volume changes of the lower legs in healthy males with a profession that requires standing, *Skin Research and Technology*. 1998;4:18-23.
- [10] Blazek C, Amsler F, Blättler W, Keo HH, Baumgartner I, Willenberg T. Compression hosiery for occupational leg symptoms and leg volume: a randomized crossover trial in a cohort of hairdressers, *Phlebology*. 2013;28:239-47.
- [11] Amsler F, Blättler W. Compression therapy for occupational leg symptoms and chronic venous disorders – a meta-analysis of randomised controlled trials, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2008;35:366-72.
- [12] Blättler W, Thomaä H-J, Winkler C, Amsler F. Light medical compression stockings reduce complains while standing equally good as tight ones, *Phlebologie*. 2016;45:25-8.
- [13] Hirai M, Iwata H, Hayakawa N. Effect of elastic compression stockings in patients with varicose veins and healthy controls measured by strain gauge plethysmography, *Skin Research and Technology*. 2002;8:236-9.
- [14] Weiss RA, Duffy D. Clinical benefits of lightweight compression: reduction of venous-related symptoms by ready-to-wear lightweight gradient compression hosiery, *Dermatologic Surgery*. 1999;25:701-4.
- [15] Partsch H, Winiger J, Lun B. Compression stockings reduce occupational leg swelling, *Dermatologic Surgery*. 2004;30:737-43.
- [16] Stick C, Grau H, Witzleb E. On the edema-preventing effect of the calf muscle pump, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1989;59:39-47.
- [17] Stick C, Hiedl U, Witzleb E. Volume changes in the lower leg during quiet standing and cycling exercise at different ambient temperatures, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1993;66:427-33.
- [18] Seo A, Kakehashi M, Tsuru S, Yoshinaga F. Leg swelling during continuous standing and sitting work without restricting leg movement, *Journal of Occupational Health*. 1996;38:186-9.
- [19] Seo A, Kakehashi M, Uda S, Tsuru S, Yoshinaga F. Bioelectrical impedance measuring method for standing load evaluation, *Journal of Occupational Health*. 1995;37:83-7.
- [20] Junge F, Korschake W, Haase H, Juenger M. Walking instead of standing – Influence of movement on sensations of discomfort and the volume of the lower legs during standing loads, *European Journal of Vascular Medicine*, ISSN 0301-1526, in review, submitted 08/2021.
- [21] Streeten DHP. *Orthostatic Disorders of the Circulation*, Plenum Publishing Corporation, Baltimore, MD, 1987;13-57.
- [22] Bauerfeind AG. BODYTRONIC® 600, Messtechnik der nächsten Generation, <https://www.bauerfeind.de/de/haendler/digitale-messtechnik/details/product/bodytronic-600/> (accessed June 14, 2020).
- [23] Tischer T, Oye S, Wolf A, Feldhege F, Jacksteit R, Mittelmeier W, Bader R, Mau-Moeller A. Measuring lower limb circumference and volume – introduction of a novel optical 3D volumetric measurement system, *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik*. 2020;65:237-41.

- [24] Rabe E, Pannier-Fischer F, Bromen K, Schuldt K, Stang A, Poncar C, Wittenhorst M, Bock E, Weber S, Jöckel K-H. Bonner Venenstudie der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie. Epidemiologische Untersuchung zur Frage der Häufigkeit und Ausprägung von chronischen Venenkrankheiten in der städtischen und ländlichen Wohnbevölkerung, Phlebologie. 2003;32:1-14 (in German).
- [25] Lin YH, Chen CY, Cho MH. Influence of shoe/floor conditions on lower leg circumference and subjective discomfort during prolonged standing, *Applied Ergonomics*. 2012;43:965-70.
- [26] Jonker MJ, de Boer EM, Adèr HJ, Bezemer PD. The oedema-protective effect of Lycra support stockings, *Dermatology*. 2001;203:294-8.
- [27] Wou J, Williams KJ, Davies AH. Compression stockings versus neuromuscular electrical stimulation devices in the management of occupational leg swelling, *International Journal of Angiology*. 2016;25:104-9.
- [28] Lin YH, Chen CY, Cho MH. Effectiveness of leg movement in reducing leg swelling and discomfort in lower extremities, *Applied Ergonomics*. 2012;43:1033-7.

AUTHOR COPY