

1. Einleitung

Schon 1856 beschrieb Rudolf Virchow eine Trias, wonach eine verlangsamte Blutströmung, Gefäßwandschäden und die Veränderung der Blutzusammensetzung mit Hyperkoagulabilität zu intravasalen Gerinnseln führen können [1].

1940 berichtete der englische Gerichtsmediziner Simpson von 21 Todesfällen durch Lungenembolien während oder nach den deutschen Luftangriffen auf London, die gehäuft nach stundenlangem Sitzen in verkrampfter Haltung in den beengten Luftschutzkellern auftraten [2]. 1954 veröffentlichte Homans [3] fünf Fälle mit venösen Thrombosen und Lungenembolien, die in Zusammenhang mit langem Sitzen in Flugzeug, Auto und Theater auftraten. Symington und Stack [4] führten 1977 den Begriff „Economy Class Syndrome“ (ECS) in die Literatur ein. Sie verbanden damit die Vorstellung, dass sich Probleme des Venensystems in modernen Flugzeugen vor allem durch die verkrampfte Sitzposition ergeben. Cruickshank [5] veröffentlichte 1988 sechs ausführliche Fallbeschreibungen pulmonaler Embolien bei Langstreckenflügen, die wesentlich dazu beitrugen, das ECS schlagwortartig einzuprägen.

Nachdem Beinvenenthrombosen jedoch nicht nur nach Langstreckenflügen beobachtet wurden, hat man sich in mehreren Konferenzen entschieden, das ECS als Sonderform der Reisetrombose und nicht als eigenständiges „Krankheitsbild“ anzusehen [6,7]. Im Konsensuspapier zur Reisetrombose 2001 [7] wurde die Reisetrombose definiert als das Auftreten einer Thrombose des tiefen Venensystems der unteren Extremitäten (mit/ohne pulmonal-embolischen Komplikationen) in zeitlichem Zusammenhang mit einer vielstündigen Reise in vorwiegend sitzender Position bei Personen, die bei Reiseantritt keinen Hinweis auf eine akute venöse Thromboembolie aufwiesen. Ferrari et al. [8] präzisierten schließlich in ihrer Fall-Kontroll-Studie für sich die vielstündige Reise auf über vier Stunden.

Es besteht jedoch ein Problem darin, dass die Beschreibungen dieses Krankheitsbildes entweder nur auf kasuistischen Beschreibungen beruhen oder anhand eines großen statistischen Materials fernab der klinischen Realität erfolgten. Eine experimentelle Annäherung an dieses Problem unter kontrollierten Laborbedingungen war bislang noch nicht möglich. Natürlich sollten dabei keine Thrombosen hervorgerufen, sondern nur Bedingungen erkundet werden, leichte Unterschenkelödeme zu erzeugen und Möglichkeiten diese zu vermeiden.

Neben der Verlangsamung der Blutströmung, Endothelläsionen und der veränderten Blutzusammensetzung werden derzeit als weitere Faktoren zur Entstehung der Flugreisethrombose ein verminderter Barometerdruck von etwa 560 mmHg in einer Großraumkabine und die dadurch bedingte relative Hypoxie sowie Vibrationsbelastungen diskutiert [6].

Vibrationen treten in jedem Flugzeug, insbesondere an den außenliegenden Sitzplätzen, beim Betrieb auf und können als Ursache oder Mitursache für eine Ödementwicklung nicht ausgeschlossen werden. Vibrationen finden sich in Autos, Bussen, Bahnen – kurzum in allen Fahrzeugen, in denen sich Reisetrombosen ereignet haben. Orta-Oedekoven und Restorff [9] beobachteten bei Panzerkommandanten, die längere Zeit im fahrenden Panzer gestanden hatten, teilweise beeindruckende Ödeme in den unteren Extremitäten. Dieser Nachweis unterstreicht die Vermutung, dass die Vibrationsbelastung tatsächlich ein weiterer Faktor der Thrombogenese sein könnte.

Der Einfluss von Vibrationen auf den menschlichen Körper ist in der Arbeitswelt bekannt. Vibrationsbelastungen werden als Ursache berufsbedingter Erkrankungen anerkannt und finden sich in der Liste der Berufskrankheiten unter den Nummern 2103, 2104 und 2110 [10]. Beim vibrationsbedingten Raynaud- Phänomen (BK 2104) erzeugen Vibrationen mit hoher Amplitude eine Vasokonstriktion, die sich nach Jahrzehnten chronifizieren kann.

Skoglund hingegen fand heraus, dass hohe Frequenzen zwischen 150 und 250 Hz bei niedriger Amplitude um 10 bis 25 μm zur Dilatation der entsprechenden Gefäße und zur Erwärmung der exponierten Körperstellen führen [11]. Ryan et al. postulierten schließlich, dass 10- minütige Vibrationsbelastung an den Beinen zur Erhöhung des dermalen Wassergehaltes führt [12].

Vibrationen sollten demnach frequenzabhängig zur Vasodilatation der Venen und Erwärmung des vibrationsexponierten Körperteiles führen. Das in den Beinvenen verbliebene Volumen erhöht sich, es kommt zur Verlangsamung des Blutflusses und zum Auspressen von Filtrat, welches zu Ödemen in der Haut führt. Ödem und Verlangsamung/Stase des Blutflusses erfüllen wiederum die Grundsätze der Virchow-Trias zur Bildung intravasaler Gerinnsel. Ein durch Vibration erzeugtes Ödem entspricht

darüber hinaus dem Grundgedanken eines reproduzierbaren Symptoms, das unter standardisierten Bedingungen erkundet werden kann.

Das Ödem kann auch subjektiv vom Fluggast wahrgenommen werden, wenn er nach einem Langstreckenflug seine Schuhe wieder anziehen will und ihm diese nun zu eng erscheinen.

Sogar Juristen und Flugunternehmen mussten sich mit dem Thema der Flugthrombose auseinandersetzen. So sorgte ein Urteil des australischen Court of Victoria vom 20. Dezember 2002 für weltweite kontroverse Diskussionen, wonach das Unterlassen der Fluggesellschaften, vor den bekannten Risiken einer tiefen Beinvenenthrombose zu warnen, zu Schadensersatzansprüchen ihnen gegenüber führt [13]. Inzwischen verteilen die Airlines, Reiseveranstalter und Apotheken entsprechende Aufklärungsbroschüren vor Antritt einer Reise und bieten vielerorts Reisestrümpfe an.

Doch wie gefährdet ist ein Reisender tatsächlich, eine tiefe Beinvenenthrombose (TVT) oder gar eine Lungenembolie zu entwickeln? Aufgrund der in der Literatur dokumentierten Fallberichte und der retrospektiven Analysen zum Thema Reisetrombose können keine exakten Angaben zur Häufigkeit derartiger Ereignisse gemacht werden.

Es wurden mehrere Fall-Kontroll-Studien durchgeführt, um die Frage zu beantworten, ob lange Reisen mit einem Thromboserisiko einhergehen, das höher liegt als in der Normalbevölkerung, welches in Nordeuropa, bezogen auf die Gesamtbevölkerung, auf 1,6 bis 1,8 pro 1.000/Jahr geschätzt wird [14,15]. Als erste Gruppe verglichen Ferrari und Mitarbeiter [8] Thrombosepatienten hinsichtlich ihrer Reiseanamnese mit einer stationär behandelten Gruppe ohne Thrombose. Sie fanden heraus, dass das mehr als vierstündige Reisen mit einem hochsignifikanten Risiko für die Entwicklung einer TVT/Lungenembolie assoziiert ist. Gegenteilige Ergebnisse fanden sich bei den Untersuchungen von Kraaijenhagen und Mitarbeiter [16], die jedoch aufgrund zu kleiner Fallzahlen kein klares Gegenargument bieten.

Die erste prospektive Studie von Scurr [17] zeigte, dass bis zu 10% der Passagiere eines Langstreckenfluges ohne Benutzung präventiver Maßnahmen asymptomatische duplexsonografisch nachweisbare TVT entwickeln können. Im Vergleich dazu entwickelte keiner der Passagiere, der einen Klasse-1-Kompressionsstrumpf trug, eine

TVT. Diese Zahlen erscheinen unglaublich hoch und müssen durch weitere Studien überprüft werden.

Ein wichtiger Faktor ist außerdem die Länge der Reise. Die Studie von Lapostolle [18] zeigte einen Anstieg der Inzidenz nachgewiesener Pulmonalembolien in Abhängigkeit von der Flugstreckenlänge: Waren es bei Flügen unter 5.000 km noch 0,01 Fälle/Mio. Passagiere, stieg die Inzidenz über 5.000 km signifikant auf 1,5 Fälle/Mio. und lag bei über 10.000 km sogar bei 4,8 Fällen/Mio Passagiere.

Bei den Statistiken fehlte es allerdings oft an Beschreibungen, welche individuellen Risikofaktoren eine Rolle gespielt haben könnten wie z.B. Lipidämien und Diabetes mellitus u.s.w.. Auch ist die Struktur des venösen Gefäßbettes der Beine individuell stark unterschiedlich. Gänzlich fehlten bei den Kasuistiken die Vorgeschichten wie Klimabedingungen, Wartezeiten vor den Flugschaltern usw. unmittelbar, d.h. zwei Stunden vor Reiseantritt. Dies sind alles Faktoren, die unserer Meinung nach das Geschehen während und unmittelbar nach der Reise erheblich beeinflussen und dementsprechend auch beachtet werden müssen.

Wir stellten uns die Frage, ob es nicht möglich sei unter Laborbedingungen und ohne langwierige in-flight-Versuche die Bedingungen und Möglichkeiten zur Verhinderung der Ödementstehung zu untersuchen. Bisher wurde etwa der Reisestrumpf als mögliche präventive Maßnahme nur im Flug bei Passagieren getestet. Vibrationen wurden als Ursachen der TVT erwähnt, aber nicht genau erläutert. Die Beobachtungen von Orta-Oedekoven und Restorff [9] gaben den Anstoß, dass Vibrationsbelastung auch experimentell Ödeme hervorrufen könnten. Unser Ziel war es, ein Modell zu entwickeln, mit welchem unter standardisierten Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Sauerstoffpartialdruck) unabhängig von Flugreisen und möglichst schnell reversible Ödeme erzeugt werden können. Wir gingen davon aus, dass Vibrationen entweder über Erythemata der Haut oder über Durchblutungssteigerung Volumenänderungen im Unterschenkel- Fuß- Bereich induzieren können [19]. Der verwendete Unterschenkel-Fuß-Pethysmograph sollte hierbei zeigen, dass er eine volumetrische Messeinrichtung darstellt, die diese Volumenänderungen möglichst zuverlässig messen kann. Besonderes Augenmerk sollte auch auf die Zeiträume außerhalb der Vibrationsbelastung gelegt werden. Wir stellten uns weiterhin die Frage, ob das Tragen von „Reisestrümpfen“ einen protektiven Effekt bei diesen Vibrationsbelastungen hat.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchspersonen

Jeweils zehn männliche und weibliche Probanden zwischen 17 und 29 Jahren nahmen freiwillig an den Versuchsreihen teil. Alle Probanden wurden über den Versuch und dessen mögliche Folgen aufgeklärt und gaben hierzu ihr Einverständnis. Zwei Probandinnen beendeten ihre Mitarbeit nach dem ersten Versuch wegen Schwangerschaft, sodass letztlich 18 Personen in die Auswertung integriert werden konnten.

Sieben der restlichen acht Probandinnen nahmen regelmäßig Ovulationshemmer ein. Zwei Männer wiesen eine Subhämophilie auf, zwei andere Männer und eine Frau nahmen zeitweise antiallergische Medikamente ein.

Die Charakteristika der Versuchspersonen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Parameter	Einheit	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
männlich (N=10)						
Alter	(Jahre)	17	21,3	23,5	24,3	27
Körpergröße	(cm)	170	170,8	175,5	182,3	186
Körpergewicht	(kg)	60	64,2	68,2	74,5	96,9
body mass index	(kg*m ⁻²)	19,87	21,17	21,87	23,80	28,01
weiblich (N=8)						
Alter	(Jahre)	21	21,25	22	23	24
Körpergröße	(cm)	158	163	168	175	177
Körpergewicht	(kg)	45,9	52,8	57,3	66,2	70,9
body mass index	(kg*m ⁻²)	18,39	19,28	20,26	22,18	22,89

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchspersonen bei Versuchsbeginn

2.2 Standardisierung der Versuchsbedingungen

In der ersten von fünf Versuchsreihen kamen die Probanden zu einem frei wählbaren Zeitpunkt zum Untersuchungsort. Der Beginn variierte von 8:10 Uhr bis 18:10 Uhr. Sowohl ihr vorheriger Tagesablauf, ihre zurückgelegten Wege zum Testort als auch das Wetter variierten stark. Daher wiederholten wir bei drei Probanden diese erste Versuchsreihe mehrmals.

Ab der dritten Versuchsreihe synchronisierten wir den Versuchsbeginn eines jeweiligen Versuches auf die Zeitspanne von 7:30 bis spätestens 10:30 Uhr.

2.3 Versuchsaufbau

Der Unterschenkel- Fuß- Plethysmograph

Der Unterschenkel- Fuß- Plethysmograph (UFP) ist das Messinstrument für folgende Untersuchungen. Es ist ein Nachbau des Gerätes, welches Restorff und Orta-Oedekoven zur Quantifizierung von Ödemen bei Panzerkommandanten entwickelten [20].

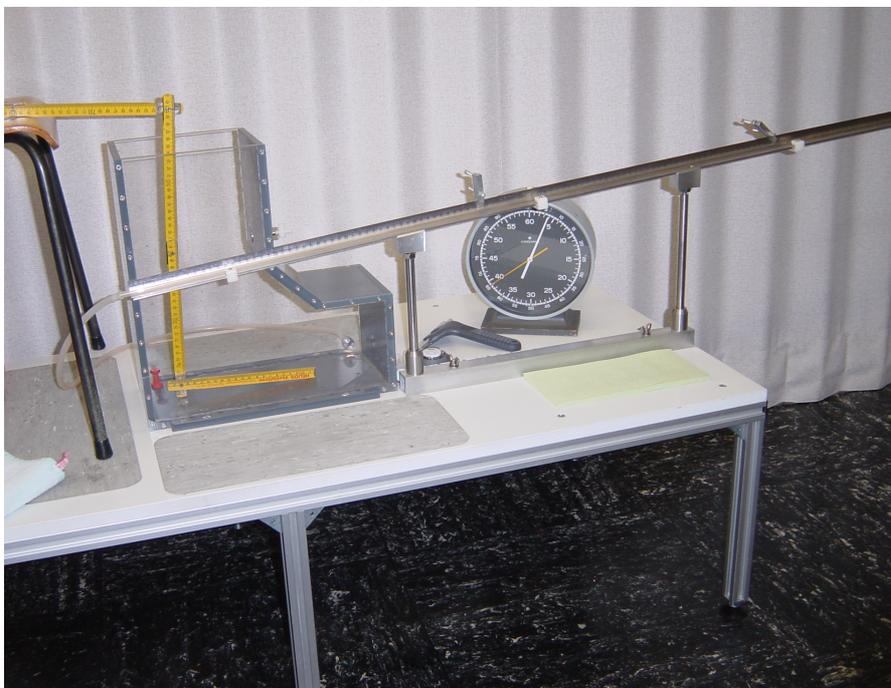


Abb. 1: Unterschenkel- Fuß- Plethysmograph (UFP) mit Stuhl und Metermaß als symbolische Beinposition, Stoppuhr im Hintergrund

Er besteht aus einem oben offenen L-förmigen Hohlkörper, der an einen eckigen Stiefel erinnert (Abb. 1). Im Vorderbereich - dem Übergang vom Unterschenkel zum Rist des biologischen Fußes entsprechend - ist der eckige Übergang abgeflacht, um den Einstieg zu erleichtern. Die Wände bestehen aus 10 mm starkem Hart- PVC. Die Seitenflächen sind durchsichtig, um das Vorhandensein von Luftblasen zu registrieren und um diese gegebenenfalls vor einer Messung zu entfernen.

Der Stiefel hat eine Grundfläche von 360 x 175 mm. Zum Boden hin ist eine Öffnung eingelassen und mit einem Gummistopfen abgedichtet. Sie dient der besseren Entwässerung des Plethysmographen. Der Schaft hat eine Höhe von 380 mm.

Volumenänderungen werden in einem Steigrohr aus Glas gemessen, das in einem Winkel von 6° zur Horizontalen angebracht ist (Durchmesser 10 mm, lichte Weite 8 mm). Der Winkel von 6° vergrößert die Höhenzunahme des Wasserspiegels im Schaft etwa um den Faktor 9,57 ($1/\sin 6^\circ$). Dem Glasrohr ist eine Zentimeterskala unterlegt, abgelesen wird am niedrigsten Punkt des Meniskus der Wassersäule. Es ist auf einem 1.500 mm langen Aluminiumwinkel (Schenkellänge 15 mm) fixiert.

Das Schrägrohrmanometer ist über einen PVC- Schlauch mit einer Öffnung im Bereich des Vorfußes des Stiefels verbunden.

Der UFP steht auf einem 300 mm hohen stabilen Stahlrohrtisch, dessen Füße höhenverstellbar sind, um Bodenunebenheiten auszugleichen. Mit einer zweiachsigen Libelle, die vor dem Plethysmographen auf dem Tisch fixiert ist, kann man den Tisch in die Waagerechte bringen [20].

Der UFP wird bis zur Oberkante eines Einlassventils auf 23 cm Stiefelhöhe als grobe Markierung mit Wasser aufgefüllt. Am Schrägrohrmanometer streuten die Leerwerte dadurch stark zwischen minimal 26,3 Skalenteilen (Skt) und maximal 39,4 Skt, im Mittel waren es bei allen Untersuchungen 32,4 Skt. Das Wasser hatte eine durchschnittliche Temperatur von $33,2^\circ\text{C}$ ($31\text{-}34,8^\circ\text{C}$) zu Beginn eines Versuches. Dies entspricht der Indifferenztemperatur des Unterschenkel-Fuß-Bereiches, die sich von 30 bis 34°C erstreckt.

Kalibrierungen führten wir mit 10- und 20- ml- Pipetten durch, wodurch wir einen Anhaltspunkt für die Umrechnung von Skalenteilen in Milliliter Beinvolumen erhielten. 100 ml entsprechen demnach durchschnittlich 3,6 Skalenteilen. (Anlage 1).

Die Vibrationsplattform



Abb. 2: Vibrationsplattform Galileo 2000 mit Stuhl und Strumpf

Zur Erzeugung der Vibrationen nutzten wir den Prototypen einer Vibrationsplattform, welche unter dem Namen Galileo 2000 kommerzialisiert wurde.

Der Vibrator besteht aus einer 70 x 20 cm großen Plattform, die in der Mitte auf einer Achse gelagert ist, um die sie mit einstellbarer Frequenz bewegt werden kann.

Der Proband sitzt im Versuch auf einem Stuhl vor dem Gerät, seine Knie sind etwa im 90°-Winkel gebeugt. Seine Füße stehen mittig auf einer Markierung, jeweils etwa 10 cm von der Trittfächenmitte entfernt. Auf dieser Höhe beträgt die Amplitude 2,5 mm. Bei einer Frequenz von 30 Hz erfolgt die Vibrationsbelastung für insgesamt 10 Minuten. Zur besseren Kraftübertragung werden beide Knie mit Gewichten von jeweils 4 kg beschwert. Am Gerät selbst ist die Frequenz zwischen 1 und 35 Hz frei wählbar. Die maximale Amplitude am Außenrand der Trittfläche beträgt 7,5 mm.

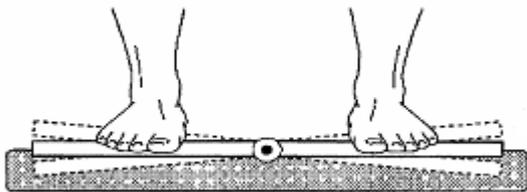


Abb. 3: Vibrationsplattform schematisch [21]

Der Reisekniestumpf

Der zu testende Reisesstrumpf der Firma Kunert gehört zur Stützklasse 3 und hat einen Hatawert von 11-13 mmHg, Kompressionsklasse A der medizinischen Kompressionsstrümpfe. Er besteht aus 50 % Baumwolle, 45 % Polyamid und 5 % Elasthan. Der Gewebedruck lässt von distal nach proximal nach, sodass das Bündchen nicht einschnürt. Die Strümpfe sind in Größen eingeteilt: 35-38, 39-42 und 43-46. Je nach Schuhgröße der Probanden wurden die Reisesstrümpfe angepasst.

Sonstige Geräte

Zur Bestimmung der Wassertemperatur und der Lufttemperatur dienten uns zwei Messfühler PT 100, Klasse B mit einer Temperaturauflösung von $0,05^\circ \pm 1$ bit. Für die Bestimmung der Oberschenkeltemperatur benutzen wir den Exergen Dermatemp- Infrared Temperature Scanner, Modell DT- 1001, Exergen Corporation aus Watertown, MA, USA. Dieser weist eine Genauigkeit von $0,1^\circ\text{C}$ auf. Die Einstellzeit beträgt 80 ms.

Als sonstige Messinstrumente verwendeten wir eine digitale Personenwaage mit einer Messgenauigkeit von 0,1 kg, ein Metermaß zur Größenbestimmung und eine analoge Stoppuhr für den Versuchsablauf.

2.4 Ablauf der Untersuchungen

Vor Beginn des Versuches wurden Größe und Gewicht bestimmt. Anschließend setzte sich der Proband in kurzer, weicher Hose für 5 Minuten auf den Stuhl des Plethysmographen- Tisches. In dieser Zeit wurden Raum- und Wassertemperatur, der Ausgangswert des Wasserstandes sowie personenbezogene Daten wie Medikamenteneinnahmen, der Zyklustag bei den Frauen und allgemeine Tätigkeiten vor dem Versuch protokolliert.

Nach dieser Ruhephase stellte der Proband sein rechtes Bein in den Plethysmographen, die Ferse am hinteren Rand des wassergefüllten Gefäßes anliegend und sein Knie mit einem 2 kg schweren Gewicht stabilisiert. Der Unterschenkel stand somit zu etwa zwei Dritteln (circa 32 cm) im Wasser. Jetzt erfolgte das erste Ablesen des Wasserstandes auf der Zentimeterskala. Die Oberschenkeltemperatur auf der Haut über dem distalen Teil des M. vastus lateralis wurde gemessen.

Nach 10 Minuten im Plethysmographen wurden erneut Wasserstand abgelesen und Oberschenkeltemperatur bestimmt. Danach nahm der Proband sein Bein aus dem Wasser, trocknete es ab und ging circa 1,5 m zur Vibrationsplatte. Dort stellte er beide Beine auf die entsprechenden Markierungen und erhielt auf beide Knie jeweils ein Gewicht.

Die nun folgende Vibrationsbelastung wurde sitzend für die nächsten 10 min bei einer Frequenz von 30 Hz durchgeführt. Der Wasserstand wurde wieder auf den Ausgangswert vor Versuchsbeginn gebracht.

Nach 10 min Rütteln ging der Proband direkt zum Plethysmographen zurück und stellte sein rechtes Bein in gleicher Weise wie vormals in den Wasserbehälter. Der Wasserstand wurde nun 20 Minuten lang in zweiminütigen Abständen abgelesen. Die Oberschenkeltemperatur wurde sofort, nach 10 und nach 20 Minuten gemessen.

2.5 Einzelversuche

Der erste Versuch fand entsprechend dem Modellablauf statt. Der Proband kam zum Versuch, setzte sich in kurzer Hose auf einen Stuhl auf den Plethysmographen-Tisch und stellte nach fünf Minuten sein nacktes rechtes Bein für zehn Minuten in den UFP. Anschließend ging der Proband zur Vibrationsplattform, wo er zehn Minuten strumpflos sitzend mit Vibration belastet wurde. Eine nochmalige Plethysmographie über zwanzig Minuten bildete den Abschluss des Versuches. Drei Probanden wurden mehr als einmal untersucht, ein Proband durchlief den Versuch 1 zweimal, zwei weitere Probanden dreimal. Für Versuch 1 wird in den folgenden Abbildungen jeweils die Farbe Blau verwendet.

Im zweiten Versuch, mindestens zwei Wochen nach dem letzten Versuch, zogen die Probanden die Reisekniestrümpfe am Morgen des Versuches sofort nach dem Aufstehen an und kamen strumpftragend im Laufe des Vormittags zwischen 7:10 Uhr und 10:40 Uhr zum Versuchsort. Sie hatten den Strumpf mindestens eine Stunde lang getragen. Die ersten fünf Minuten auf dem Plethysmographen-Stuhl behielten die Probanden noch ihre Strümpfe an und zogen sie erst zur ersten Messung aus. Nach zehn Minuten im UFP und der zweiten Messung trockneten die Probanden ihren rechten Fuß ab und zogen den Stützstrumpf an, ehe sie sich zur Vibrationsplatte begaben. Nach der zehnminütigen Vibrationsbelastung mit dem Reisekniestrumpf gingen die Probanden zurück zum Plethysmographen und zogen dort ihren rechten Strumpf aus, um das rechte Bein ins Wasserbad stellen zu können. Alle anderen Komponenten des Versuches wurden nicht abgeändert.

Da wir jedoch nach wenigen Versuchen sahen, dass dieser Versuchsaufbau nicht viel Unterschied zum Versuch ohne Reisekniestrümpfe zeigte, brachen wir diese Versuchsreihe nach 4 Probanden ab. Für Versuch 2 verwendeten wir die Farbe Gelb.

Die dritte Versuchsreihe begann jeweils am Tag vor der eigentlichen Messung, indem die Probanden nach dem Aufstehen die Strümpfe anlegen mussten und diese bis zum eigentlichen Versuch am Vormittag des Folgetages fast ununterbrochen, insgesamt mindestens 24 Stunden trugen. Am Versuchstag lief alles dem Versuch 2 entsprechend ab: Der Proband kam strumpftragend, setzte sich für 5 min auf den Plethysmographen-Stuhl, zog dann zur ersten Messung den rechten Strumpf aus und später zum Rütteln

wieder an. Nach der Vibration musste der Kniestrumpf wiederum bis zum Ende des Versuches ausgezogen werden. Versuch 3 erhielt im Folgenden die Farbe Rot.

Versuchsreihe 4 entsprach im Ablauf der Versuchsreihe 1 ohne Tragen und Versuchsreihe 5 dem Versuch 3 mit mindestens 24- stündigem vorherigen Tragen eines Reisekniestrumpfes. Jeweils einzige Änderung war, dass sich in beiden Versuchen 4 und 5 die Probanden zwar zur Rüttelplatte begaben, aber stattdessen ihre Füße nur locker in eine Styroporbox stellten. Diese Box sollte lediglich die eventuell noch feuchten Füße vor Zugluft und dem kalten Boden schützen.

Die letzten zwei Versuche dienten zur Abgrenzung der Wirkung der Vibrationsbelastung von den Wirkungen, die bereits durch bewegungsarmes Sitzen und durch Platzwechsel erzeugt werden können. Sie wurden bei drei Frauen und zwei Männern durchgeführt, die bei den vorigen Messungen durch unterschiedliche Reaktionsformen und oft ausgeprägte Volumenänderungen aufgefallen waren. Die Versuche 4 und 5 erhielten den Farbcode Schwarz, in Versuch 4 mit Füllung in blau, in Versuch 5 mit rosa Füllung.

Versuch	Farb- code	Vortag	Versuchstag vor Versuchsbeginn	in H ₂ O 1.+2.Messung	Vibrations- belastung	in H ₂ O 3.-5. Messung	N=
1	blau	∅	∅	∅	∅	∅	20
2	gelb	∅	+	∅	+	∅	4
3	rot	+	+	∅	+	∅	18
4	bleu	∅	∅	∅	∅	∅	5
5	rosa	+	+	∅	+	∅	5

Tab. 2: Übersicht der 5 Versuche: Wann tragen die Probanden den Reisekniestrumpf (+) und wann tragen sie ihn nicht (∅) mit Angabe von Farbcodierung und Probandenzahl N je Versuch

2.6 Umweltbedingungen

Vor jedem der insgesamt 59 Versuche wurden Wasser- und Raumlufttemperatur bestimmt.

Die ungefähre Außentemperatur erstreckte sich je nach Jahreszeit von -10 bis 25 °C. Die Ausgangsbedingungen während der Versuche sind in Tabelle 2 dargestellt.

Klimat. Bedingungen	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
Raumtemperatur (°C)	19,8	21,3	22,0	22,7	24,5
Wassertemperatur (°C)	31,0	32,6	33,2	33,8	34,8

Tab. 3: Klimatische Ausgangsbedingungen bei insgesamt 59 Versuchen

2.7 Statistische Auswertung

Die einzelnen Volumenverschiebungen einer Versuchsreihe wurden, da sie nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt waren, mit Hilfe des Medianwertes mit den anderen Versuchsreihen verglichen. Als Maß für die Streuung diente der Bereich zwischen dem 25. und 75. Perzentilpunkt. Die statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests für unverbundene Stichproben. Als signifikant wurde ein P-Wert von $< 0,05$ angenommen.

Alle sonstigen Auswertungen wurden ebenfalls mit Hilfe des Medianwertes, mit dem 25. und 75. Perzentilwert sowie den Minima und Maxima dargestellt.

Die statistischen Berechnungen erfolgten mit Hilfe der Statistik- Software SPSS für Windows, Version 11.5 und 12.0 (LEAD Technologies).

3. Ergebnisse

Die 59 Einzelversuche in fünf verschiedenen Versuchsanordnungen (siehe S. 12 sowie S. 21) ergaben kein einheitliches Reaktionsmuster. Beim Vergleich der einzelnen Messpunkte des Versuches fiel auf, dass nur das zwanzigminütige Zeitintervall der Unterschenkel- Fuß- Plethysmographie nach Vibrationsbelastung für die Versuche 1 und 3 signifikante Werte lieferte. Die Versuche 2, 4 und 5 werden aufgrund geringer Fallzahlen gesondert betrachtet.

3.1 Unterschenkel- Fuß- Volumenänderungen vor und während der Vibrationsbelastung in den Versuchen 1 und 3

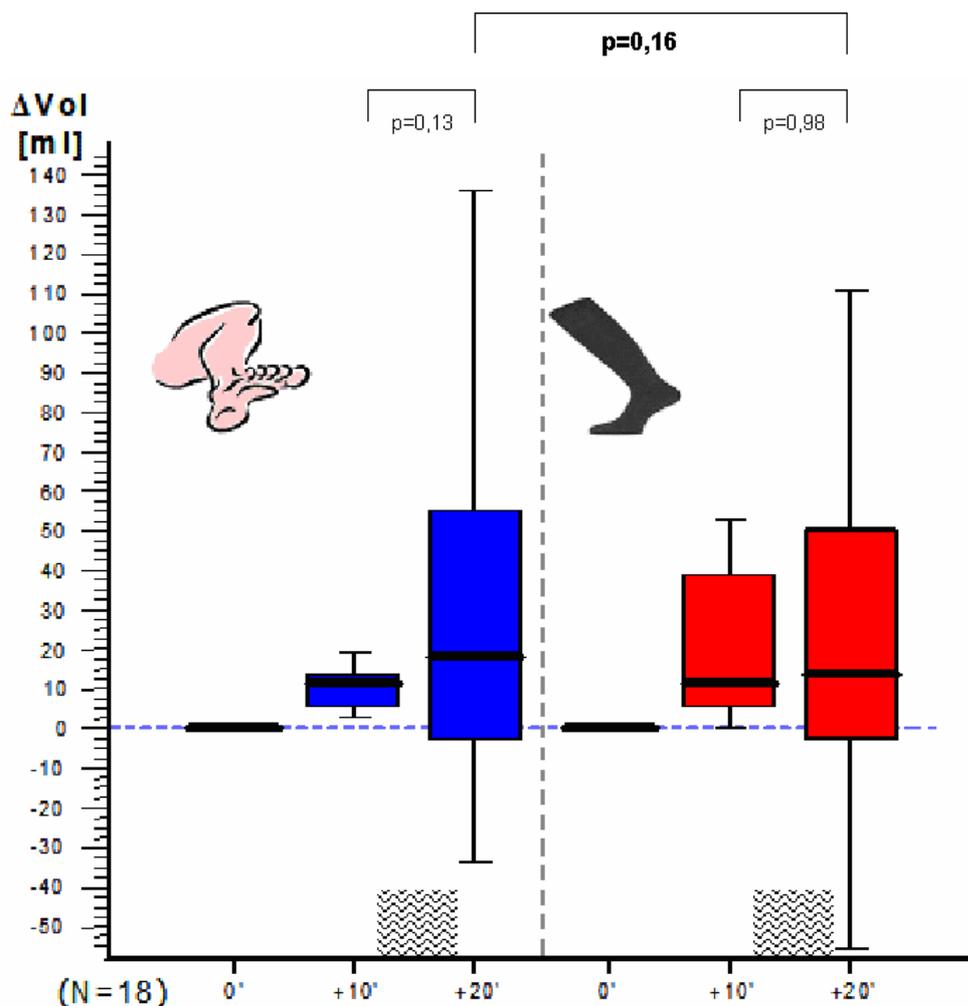


Abb. 4 : USF- Volumenänderungen von Beginn der Untersuchung (0') bis zur ersten Messung nach erfolgter Vibrationsbelastung (+20')

Abb. 4 zeigt die Volumenänderungen des Unterschenkels sowohl in der Vorphase, d.h. bei ruhigem Sitzen von Minute 0 - 10, bis unmittelbar nach Vibrationsbelastung, Minute 10 – 20. Links blau gekennzeichnet ist der Versuch bei unbestrumpften Bein, rechts in rot bei seit mindestens 24 Stunden bestrumpften Bein.

Schon in der ruhigen Vorphase ist eine Volumenzunahme der Beine zu beobachten, unabhängig vom Strumpftrogen. Im Versuch mit vorherigem Strumpftrogen ist jedoch tendenziell eine größere Veränderung aufgetreten.

Sofort nach der Vibrationsbelastung hat das Volumen im Median zwar in beiden Versuchen zugenommen. Allerdings waren die Veränderungen zunächst nicht signifikant.

Zu beachten ist die Streubreite der Messergebnisse. Da es sich um reale Messwerte von Einzelpersonen handelt, fallen einige Probanden verglichen mit dem Medianwert weit aus dem Rahmen. Subtrahiert man die initiale Volumensteigerung, erhält man geringere Maximalwerte. Die Volumenänderungen, welche ausschließlich während des Positionswechsels und der Vibrationsbelastung auftraten, entsprechend den Messpunkten 10' bis 20', sind daher in Tabelle 4 gesondert dargestellt.

Hier ergibt sich nach Abzug der initialen Volumensteigerung vor Vibration im Median ein Abfall des USF-Volumens, wenn zuvor der Reisestrumpf getragen wurde.

Volumen in ml	0' bis 10' ohne Strumpf	10' bis 20' ohne Strumpf	0' bis 10' mit Strumpf	10' bis 20' mit Strumpf
N	18	18	18	18
Minimum	2,8	-52,8	0,0	-66,7
25. Perzentil	5,6	-11,1	5,6	-38,9
Median	11,1	8,3	11,1	-2,8
75. Perzentil	14,6	39,6	39,6	39,6
Maximum	19,4	125,0	52,8	66,7

Tab. 4: Unterschenkel- Fuß- Volumenänderungen in den Versuchen 1 (ohne Reise-Kniestrumpf) und 3 (mit vorherigem 24- stündigen Tragen des Reise- Kniestrumpfes) in den ersten 10 Versuchsminuten und während der Vibration

Besonders groß waren die Differenzen zwischen den beiden Maxima nach Vibrationsbelastung: Ein nacktes Bein kam auf eine Maximalvolumenzunahme von 125 ml, ein bestrumpftes Bein nur auf 66,7 ml. Die Minima unterschieden sich dagegen nur geringfügig in der Höhe der Volumenabnahme (siehe Tab. 4, S.15). Statistische Differenzen in den Messwerten konnten nicht festgestellt werden.

3.2 USF- Volumenänderungen nach der Vibrationsbelastung in den Versuchen 1 und 3

Betrachtet man nur die Volumenänderungen in dem zwanzigminütigen Zeitintervall nach erfolgter Vibrationsbelastung, so wird ein signifikanter Unterschied zwischen dem bestrumpften und dem nicht bestrumpften Bein deutlich:

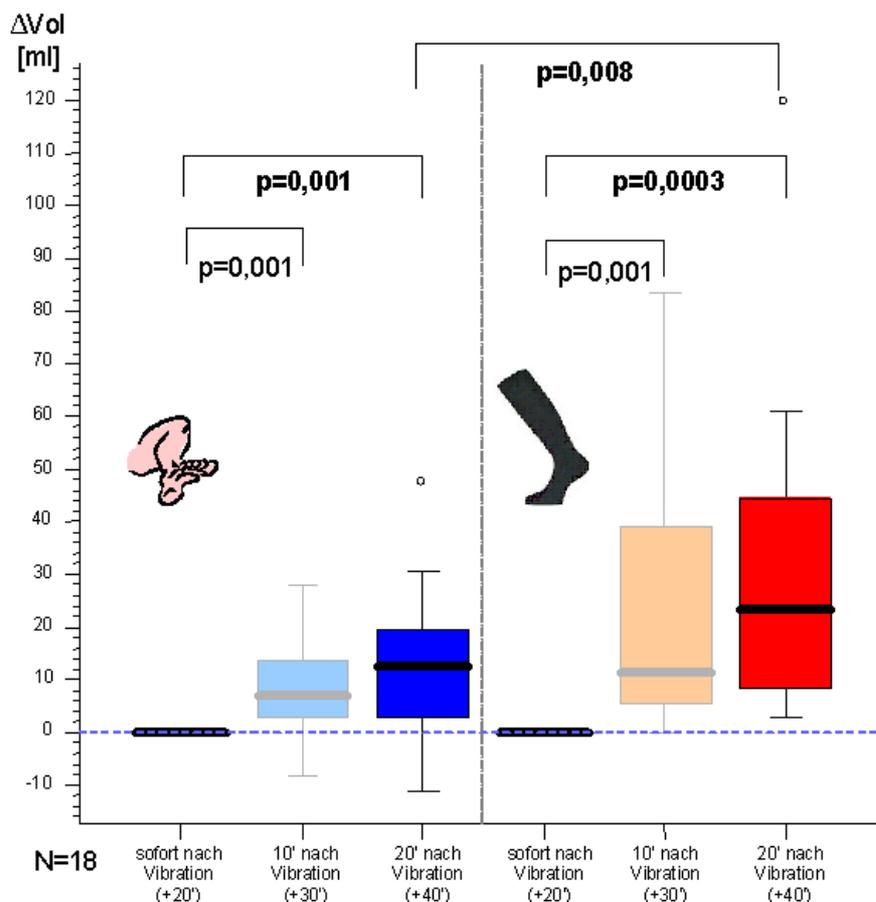


Abb. 5: Unterschenkel- Fuß- Volumenänderung nach erfolgter Vibrationsbelastung bis zum Versuchsende bei unbestrumpftem (blau, Versuch 1) und bestrumpftem Bein (rot, Versuch 3), den Messwert dabei unmittelbar nach Vibration auf „0“ gesetzt.

Vibrationen führen in den meisten Fällen zur Volumenzunahme. Unterschiedlich ist dabei das Ausmaß der Reaktion. Wenn die Probanden weder vor der Untersuchung noch während der Vibrationsbelastung einen Reise- Kniestrumpf getragen haben, dargestellt durch die blauen Boxplots, stieg in den zwanzig Minuten nach Einwirken der Vibration ihr Unterschenkel-Fuß-Volumen im Median um 13,8 ml. Dabei reichten die Volumenänderungen von einer Volumenabnahme um 11,1 ml bis zu einer Zunahme um 47,2 ml (Abb. 5, $p=0,001$).

In Abb. 5 S. 16 in rot dargestellt sind die Probanden, die vor Versuchsbeginn mindestens 24 Stunden und im Versuch während der Vibrationsbelastung den Reise-Kniestrumpf getragen haben. Sie verzeichnen ausschließlich Volumenzunahmen- von 2,8 bis 119,4 ml. Der Median liegt hier bei 26,4 ml. Die Volumenzunahmen weisen zudem eine größere Streuung der Messwerte auf.

Der Unterschied zwischen den Werten des Versuches ohne und mit Strumpf waren statistisch hochsignifikant ($p < 0,01$).

3.3 USF- Volumenänderungen nach der Vibrationsbelastung in den Versuchen 1 und 3: Männer und Frauen im Vergleich

Stellt man die Volumenänderungen der männlichen Probanden nach Vibration denen der weiblichen Probanden gegenüber zeigt sich wider Erwarten kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Tendenziell zeigten die Frauen zwar eine stärkere Volumenzunahme im Versuch ohne vorheriges Tragen des Reisekniestrumpfes als die Männer. Bei einer Probandenzahl von acht Frauen sollte allerdings nicht auf die Allgemeinheit geschlossen, sondern vielmehr ein Trend erfasst werden.

3.4 USF-Volumenänderungen im Versuch 2

Im Versuch 2 zog der Proband am Morgen des Versuchstages seinen Reisekniestrumpf an, entledigte sich dessen zu Versuchsbeginn und trug ihn wieder während der Vibrationsbelastung. Die Probanden 4,6,11 und 13 nahmen an dieser Versuchsreihe teil. Zum Abbruch dieser Serie haben wir uns entschlossen, da die Versuche 1 und 2,

wie in Abb. 6 S. 18 zu erkennen ist, keine Unterschiede zeigten und der Unterschied zu Versuch 3 bereits in Abb. 5 S. 16 erkennbar war.

Aufgrund der geringen Zahl der zur Verfügung stehenden Versuche verzichteten wir auf eine statistische Auswertung.

Vergleicht man die Volumenänderungen in dem Zeitintervall nach Vibrationsbelastung, so zeigte sich für die Versuche 1 ohne Reisesstrumpf und 2 mit kurzzeitig getragenen Reisesstrumpf kein wesentlicher Unterschied. Versuch 3 (Abb.6) hob sich dagegen deutlich von den beiden anderen Versuchsreihen ab:

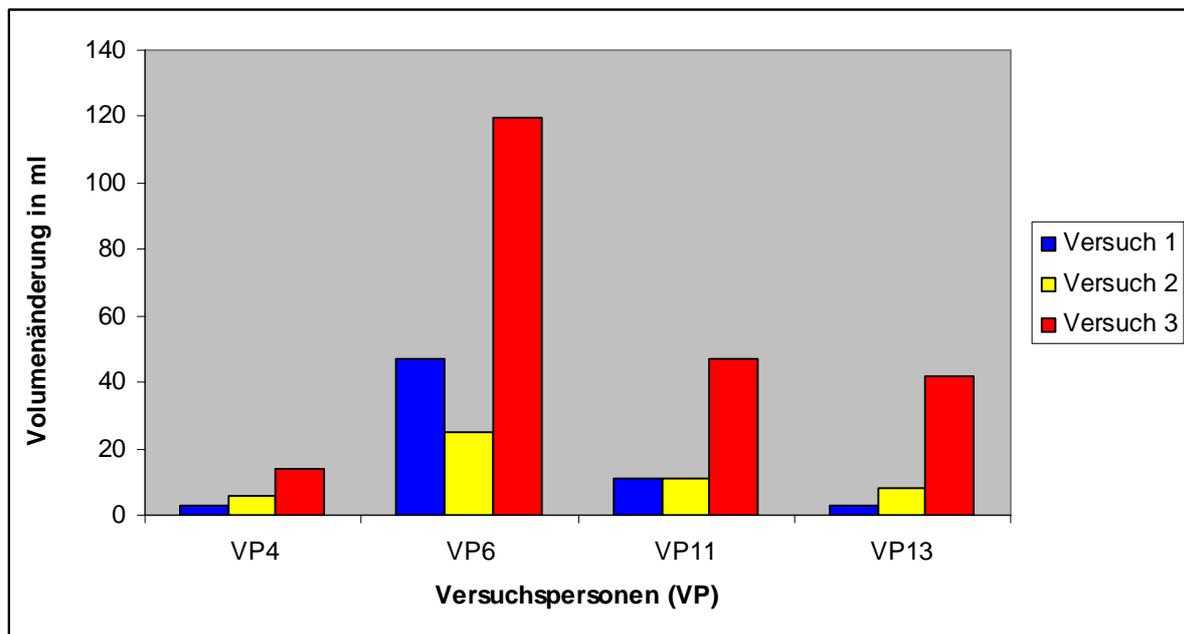


Abb. 6: Volumenänderungen der 4 Probanden in dem zwanzigminütigen Zeitintervall nach erfolgter Vibrationsbelastung – Vergleich der Versuche 1 bis 3

Gemeinsam war allen Probanden, dass sie auf Vibrationsbelastung ohne und mit kurzzeitig getragenen Reisesstrumpf (Versuch 1 und 2, jeweils in blau und gelb) mit einer Volumenzunahme nach Vibrationsbelastung reagierten, die weniger als die Hälfte der Volumenänderung aus Versuch 3 (rot) betrug. Demnach konnte das kurzfristige Anlegen nicht mehr bewirken, als es ohne vorheriges Strumpftragen der Fall war. Dieses Ergebnis zwang uns, die Versuchsreihe zu modifizieren und Versuche wie in Versuch 4 und 5 durchzuführen.

3.5 USF-Volumenänderungen in den Kontrollversuchen 4 und 5

Kontrollversuch 4 entsprach im Ablauf dem Versuch 1 ohne Tragen eines Reisekniestrumpfes, Kontrollversuch 5 dem Versuch 3 mit vorherigem 24stündigen Tragen des Reisekniestrumpfes. Gemeinsame Grundlage der Kontrollversuche war das Unterlassen der Vibrationsbelastung, um den Vibrationseffekt losgelöst von den Lagewechseln während des Versuches betrachten zu können.

Hierbei zeigte sich jedoch kein einheitliches richtungweisendes Bild. Wie später in den Einzelfallbetrachtungen geschildert, scheint es unterschiedliche Reaktionen der Probanden auf den gleichen Reiz zu geben.

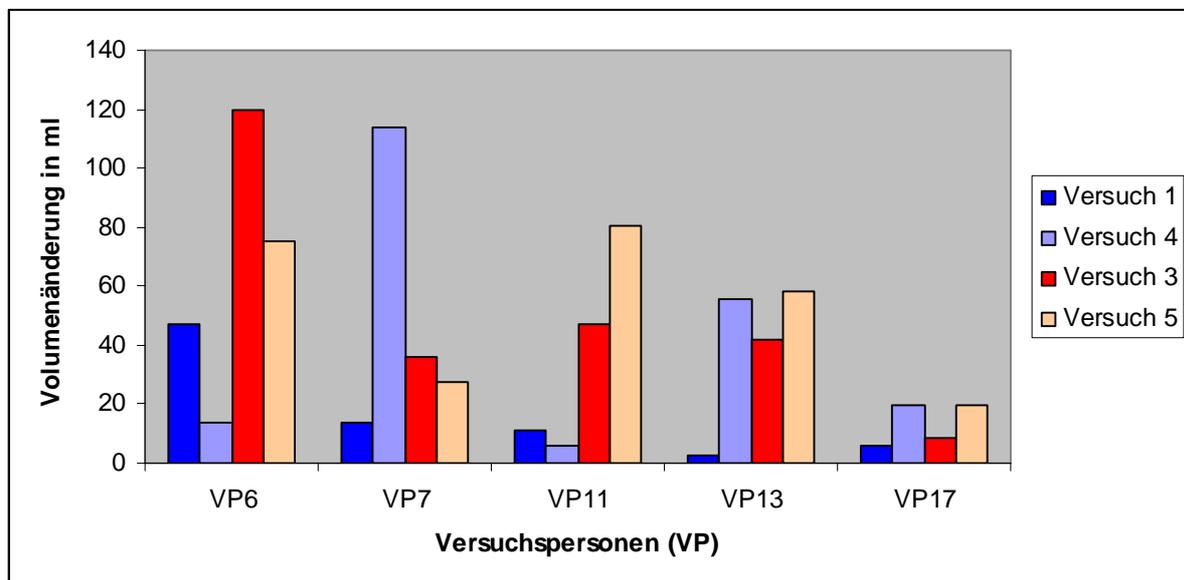


Abb. 7: Volumenänderungen der 5 Probanden in dem zwanzigminütigen Zeitintervall nach erfolgter Vibrationsbelastung – Vergleich der Versuche 1 und 3 zu den Kontrollversuchen 4 und 5

Ein durchgehend einheitliches Muster ist in Abb. 7 nicht erkennbar. Es ist jedoch auffällig, dass nach 24 stündigem Tragen von Strümpfen in den Versuchen 3 und 5 (rot, orange) es nach Ablegen der Strümpfe zu relativ starken Volumenzunahmen kommt. Versuch 3 in rot weist schon gesetzmäßig eine größere Volumenzunahme als sein Vergleichspartner in blau, Versuch 1, auf. D.h. nach dem Ablegen der Strümpfe akkumulierte sich das Volumen. Ruhiges Sitzen ohne Reiseschuh (Versuch 4, blau)

führt dagegen weniger häufig zu großen Volumenzunahmen, Versuch 1 in blau fast gar nicht mehr.

Bei den Versuchen mit Proband Nr. 7 schien der Versuch 4 eine Sonderstellung einzunehmen. Proband 7 reagierte in allen Versuchen außer Versuch 4 mit relativ geringen Volumenänderungen, die eine Zunahme um maximal 40 ml nicht überschritten. In Versuch 4 erreichte er eine postinterventionelle Volumenzunahme um 114 ml. Versuch 5 erreichte hierbei nur eine Volumenzunahme um 28 ml, die unter dem Niveau des Versuches 3 lag.

VP 13 und 17 reagierten in den Versuchen 4 und 5 gleichartig mit einem stetigen Volumenanstieg, der durch den zwischenzeitlichen Standortwechsel nur wenig beeinflusst wurde. Die Volumenzunahme in Versuch 5 entsprach in etwa der Volumenzunahme des Versuches 4. In den Versuchen 1 und 3 mit Vibrationsbelastung hatten beide Probanden ihren größten Volumenzuwachs während derselben (siehe S.24 Abb. 10, S. 27 ff.) und nahmen im hier angegebenen Betrachtungszeitraum nach Vibrationsbelastung nur noch wenige Milliliter zu (blau, rot). Beide Versuche lagen weit unter dem Niveau der USF- Volumina der Versuche 4 und 5.

Eine abschließende Beurteilung der erhobenen Befunde kann allerdings an dieser Stelle nicht erfolgen. Hier muss auf die Einzelfallbetrachtungen verwiesen werden.

3.6 Einzelfallbetrachtungen

Entgegen der Gesamtdarstellung aller 18 Probanden verhielt sich jeder einzelne Proband nicht gleichartig in seinen Reaktionen auf den jeweiligen Versuch oder die Versuchsphase. Die Unterschiede waren teilweise gravierend, ließen aber auch einige Gemeinsamkeiten zwischen einigen Probanden erkennen. Wir konnten diese Probanden zu Gruppen zusammenfassen und stellen beispielhaft einige Reaktionsmuster vor.

Bei der Betrachtung der Einzelversuche sollte man sich die einzelnen Versuchsabläufe nochmals in Erinnerung rufen. Hierbei soll der folgende Schaukasten das Lesen erleichtern, indem die verschiedenen Versuchsbedingungen in einer anderen Form dargestellt werden. (Siehe hierzu auch S. 10 sowie Tab. 2 auf S. 12)

Ablauf	5 min ruhiges Sitzen 10 min Plethysmographie des rechten nackten Beines 10 min Vibrationsbelastung 20 min Plethysmographie des rechten nackten Beines
Versuch 1 (blau)	Vibrationsbelastung ohne Reisestrumpf
Versuch 2 (gelb)	Vibrationsbelastung mit Reisestrumpf, angelegt am gleichen Morgen
Versuch 3 (rot)	Vibrationsbelastung mit Reisestrumpf, angelegt mindestens 24 h zuvor
Versuch 4 (schwarz- bleu)	Versuch ohne Vibrationsbelastung, nur ruhiges Sitzen, ohne Reisestrumpf
Versuch 5 (schwarz- rosa)	Versuch ohne Vibrationsbelastung, nur ruhiges Sitzen, mit Reisestrumpf mindestens 24h zuvor angelegt

Schaukasten 1: Ablauf der fünf einzelnen Versuchsreihen, dazu in Klammern der verwendete Farbcode der einzelnen Versuche in den Abbildungen

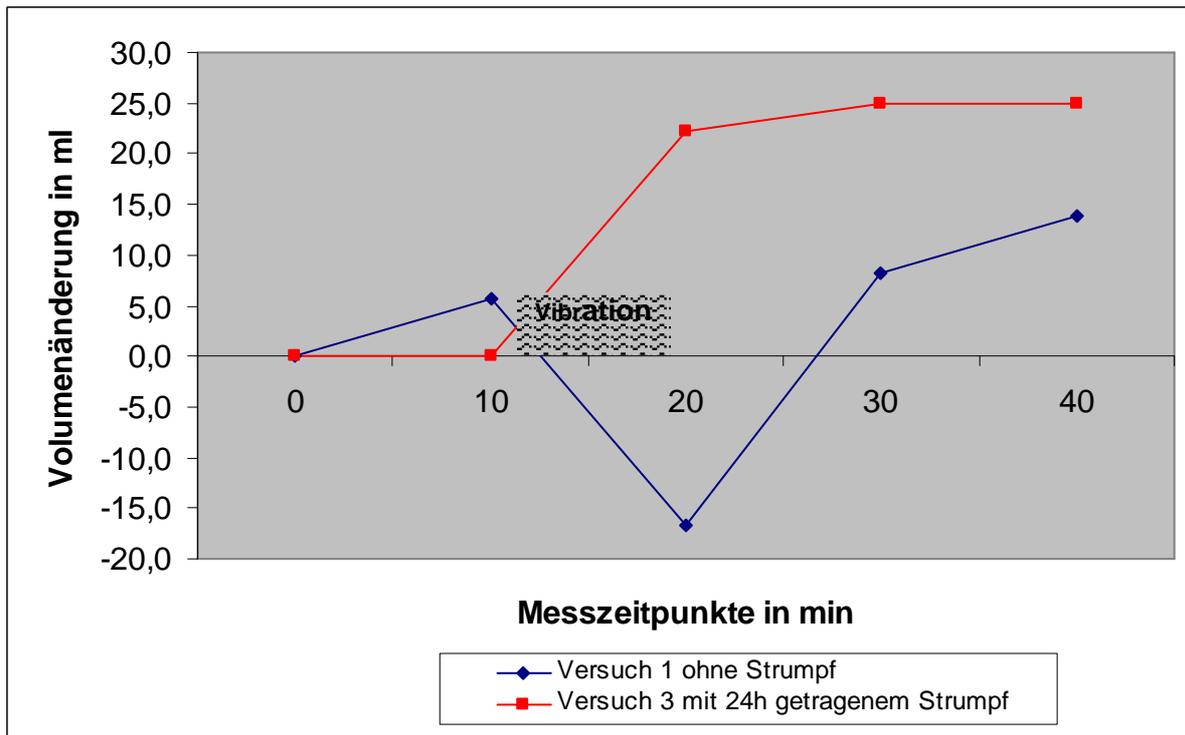


Abb. 8: Proband 1: weiblich, 22 Jahre, BMI 22,86 kg*m⁻²

Probandin 1 in Abb. 8 bot insgesamt im Versuch ohne Reisekniestrumpf weitaus stärkere Volumenverschiebungen als im Versuch mit Strumpf. Sie reagierte im Versuch 1 auf das bloße Sitzen vor Vibrationsbelastung mit einer Volumenzunahme des USF-Bereiches um 5,6 ml, während sich im Versuch 3 trotz im Wasser entkleidetem Bein keine Volumenänderungen ergaben. Während der Vibrationsbelastung ohne Strumpf nahm ihr USF- Volumen um 22,2 ml ab, um in der anschließenden Erholungsphase um insgesamt 30,6 ml anzusteigen. Bei Vibration mit Reisesstrumpf stieg dagegen das Volumen an und steigerte sich später nur unwesentlich auf insgesamt 25 ml.

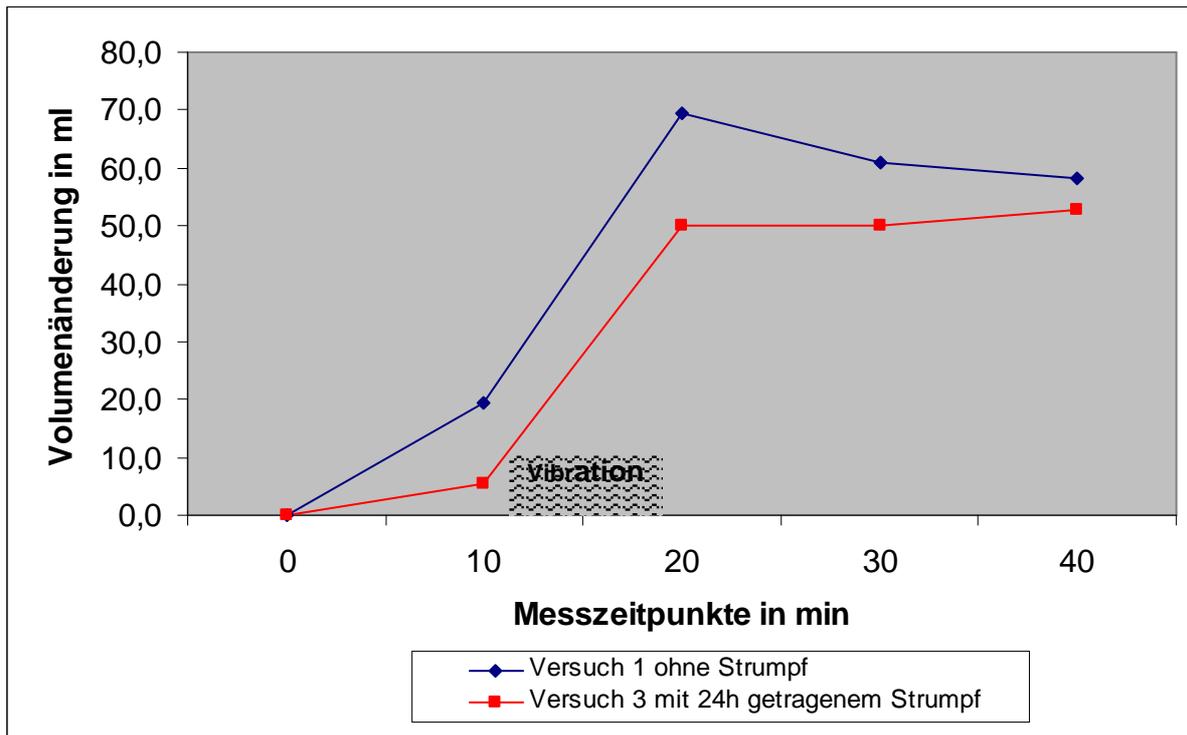


Abb. 9: Proband 2: männlich, 19 Jahre, BMI $19,87 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

Proband 2 (Abb. 9) reagierte ähnlich auf die Vibrationsbelastung, ob mit oder ohne gleichzeitiges Tragen eines Reisesstrumpfes. Anfangs stieg das USF- Volumen nur gering auf 19,4 bzw. 5,6 ml, steigerte sich nach der Vibrationsbelastung um 50 bzw. 44,4 ml und fiel anschließend in Versuch 1 (blaue Kurve) leicht ab bzw. stieg noch leicht in Versuch 3 (rote Kurve) an.

Die Volumenabnahme nach Vibrationsbelastung im Versuch 1 fand sich nur zweimal im gesamten Probandenkollektiv, bei den Probanden 2 und 14, und nur in Versuch 1.

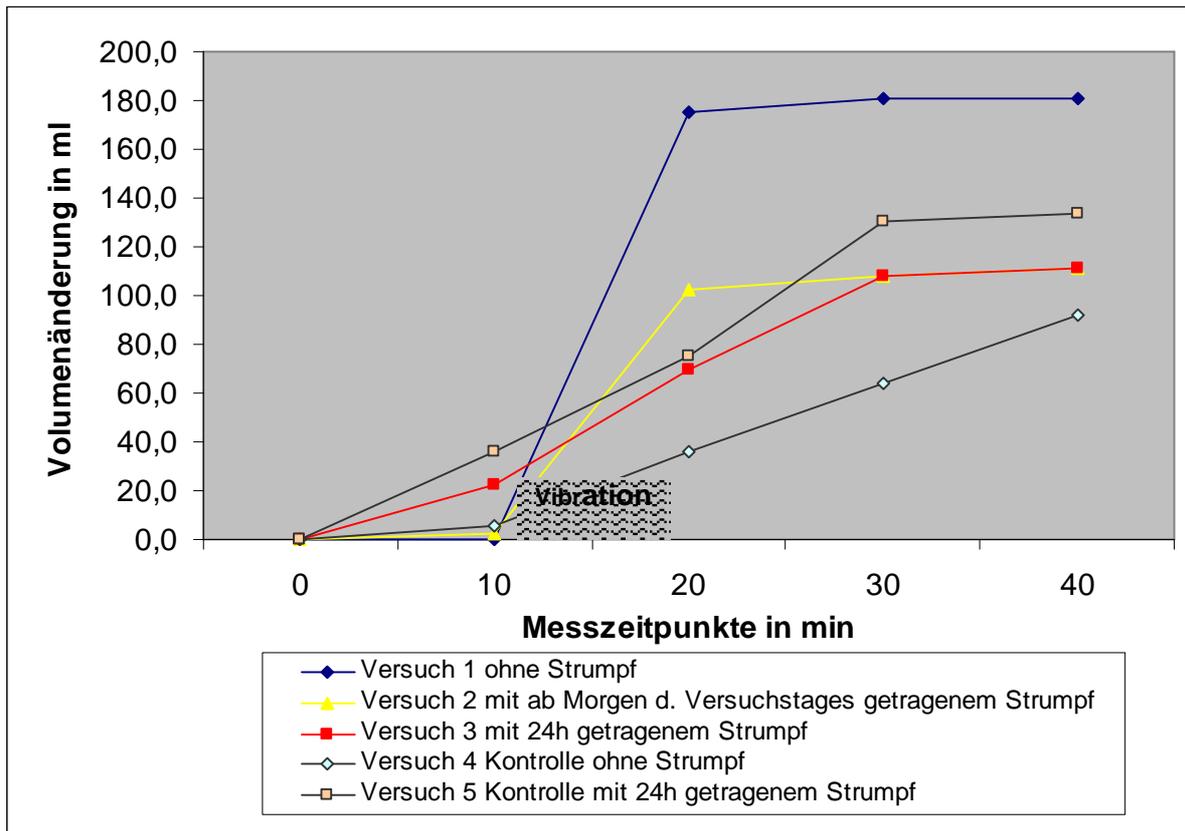


Abb. 10: Proband 13: männlich, 24 Jahre, BMI 28,01 kg*m⁻²

Proband 13 (Abb. 10) zeigte eine ausgeprägte Reaktion auf den Vibrationsreiz. Ohne vor dem Versuch den Reisestumpf getragen zu haben wies er in Versuch 1 in den ersten zehn Minuten zunächst keine Volumenänderung vor. Nach erfolgter Vibrationsbelastung erreichte das USF-Volumen jedoch eine Steigerung um 175 ml. Nach diesem Volumensprung veränderte sich das Volumen in der Folgezeit nur wenig um 5,6 ml (blaue Kurve).

In Versuch 2 setzte sich die Tendenz aus Versuch 1 in abgeschwächter Form fort, blieb doch der Volumenanstieg nach Vibration 75 ml unter dem aus Versuch 1.

Versuch 3 startete mit 22,2 ml und somit einer größeren Volumenzunahme in den ersten zehn Minuten als im gleichen Zeitraum in den Versuchen 1 und 2. Allerdings zeigte der Proband nach Vibrationsbelastung eine geringere Volumenzunahme von 47,2 ml als in den beiden vorausgegangenen Versuchen. Erst in den letzten 20 Versuchsminuten erreichte er letztlich das Niveau aus Versuch 2.

Versuch 4 und 5 verzeichneten einen eher stetigen Volumenanstieg. In Versuch 5 überstieg die Volumenzunahme zunächst die aus Versuch 3 um 13,9 ml und verlief dann trotz ausgelassener Vibrationsbelastung fast parallel zu Versuch 3.

In Versuch 4 zeigte sich nach Lagewechsel bis Versuchsende eine kontinuierliche Volumensteigerung um jeweils 27,8 ml aller zehn Minuten.

So erreichte der Proband in allen Versuchen mit Ausnahme von Versuch 4 zum Ende der Versuchszeit ein relativ stabiles Niveau.

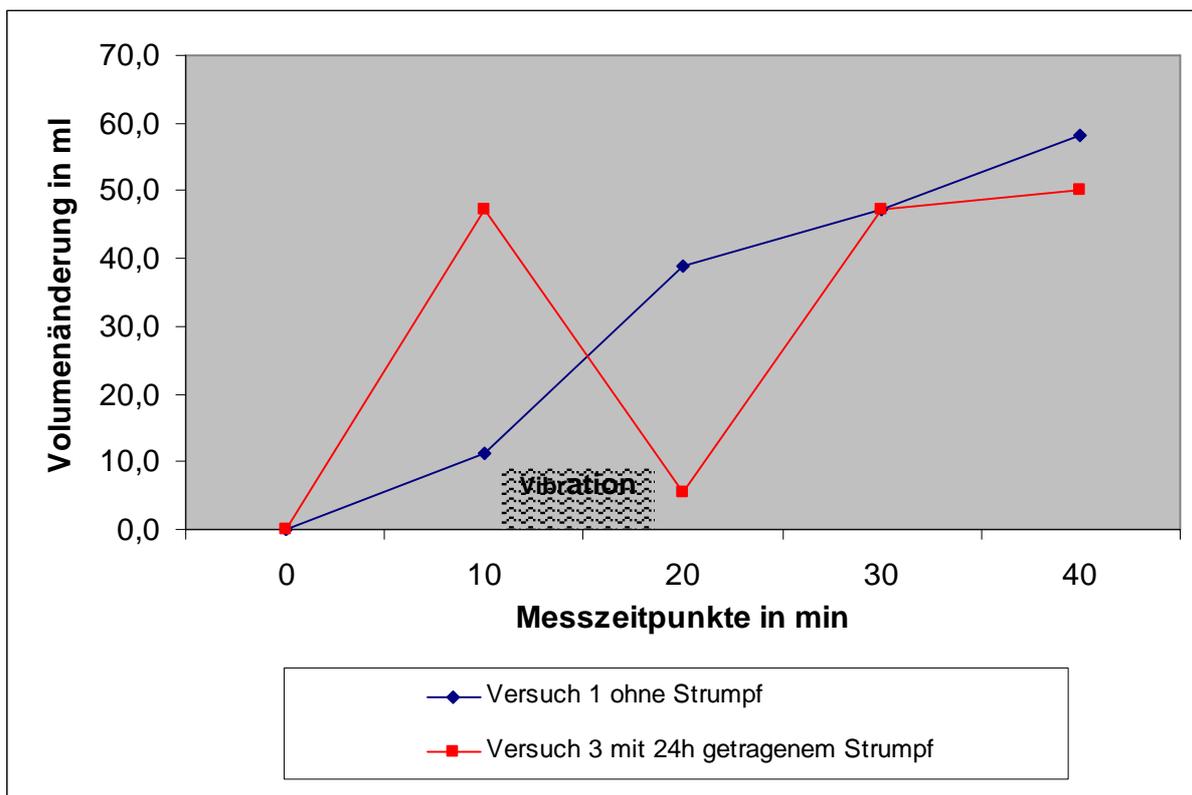


Abb. 11: Proband 16: männlich, 25 Jahre, BMI 24,08 kg*m⁻²

Proband 16 (Abb. 11) reagierte auf das Tragen bzw. Ausziehen von Reisestrümpfen im Versuch 3 mit größeren Volumenänderungen als auf das gleiche Procedere ohne Tragen von Reisestrümpfen. Stieg das USF-Volumen in Versuch 1 initial um 11,1 ml, so stieg es in Versuch 3 schon um 47,2 ml. Nach Vibrationsbelastung ohne Reisestrumpf zeigte sich ein weiterer Volumenanstieg, währenddessen beim Tragen des Reisestrumpfes das Volumen in dieser Zeit fast auf Ausgangsniveau fiel. Er erreichte in den darauf folgenden zehn Minuten wiederum den gleichen Wert wie vor Vibrationsbelastung wieder und stieg dann nur noch wenig bis zum Versuchsende um 2,8 ml an.

In Versuch 1 erfuhr der Proband nicht solche schnellen Volumenänderungen, sondern eine eher stetige Volumenzunahme. So wies der USF-Bereich des Probanden zwar letztlich in Versuch 1 einen größeren Volumenanstieg über den gesamten Versuch auf, aber in Versuch 3 die schnelleren und im Betrag größeren Volumenverschiebungen.

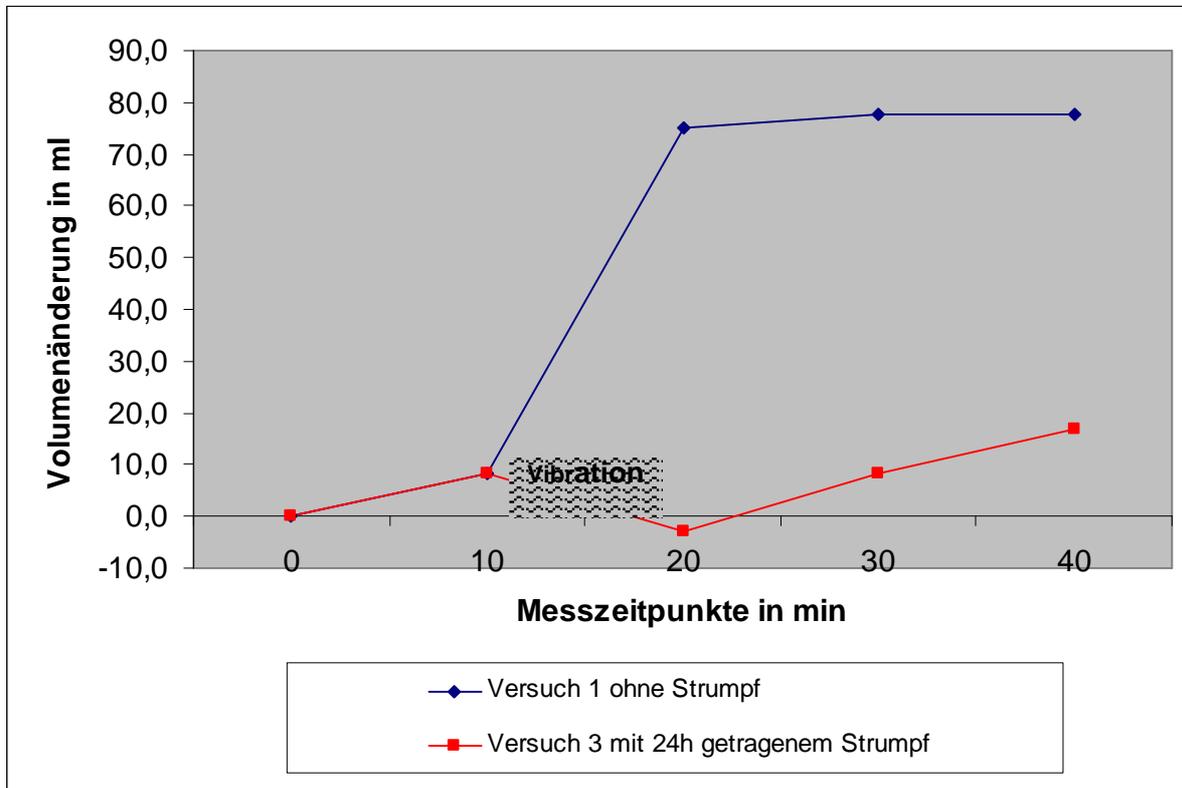


Abb. 12: Proband 20: weiblich, 22 Jahre, BMI 19,61 kg*m⁻²

In Abb. 12 zeigt Probandin 20 den möglichen und gewünschten Effekt des Strumpftragens am deutlichsten. Sie erfuhr in den ersten zehn Versuchsminuten in beiden durchgeführten Versuchen, 1 und 3, die gleiche Volumenzunahme um 8,3 ml. Erst nach erfolgter Vibrationsbelastung zeigten sich unterschiedliche Richtungen der Volumenänderung: In Versuch 1 stieg das USF-Volumen um 66,7 ml, währenddessen in Versuch 3 das Volumen nur leicht um 11,1 ml fiel. In der anschließenden zwanzigminütigen Phase stieg das Volumen wieder, in den ersten zehn Minuten um den Betrag, den das Bein bei Vibration verloren hatte und insgesamt um 19,5 ml. In Versuch 1 dagegen stieg das Volumen in dieser Zeit nur noch unwesentlich um 2,8 ml.

3.7 Wiederholungsversuche

Nachdem anfangs der Versuchszeitpunkt noch nicht synchronisiert war, wiederholten wir bei drei Probanden Versuch 1 bis zu zweimal. Hier sei beispielhaft Proband 13 in Abb. 13 vorgestellt:

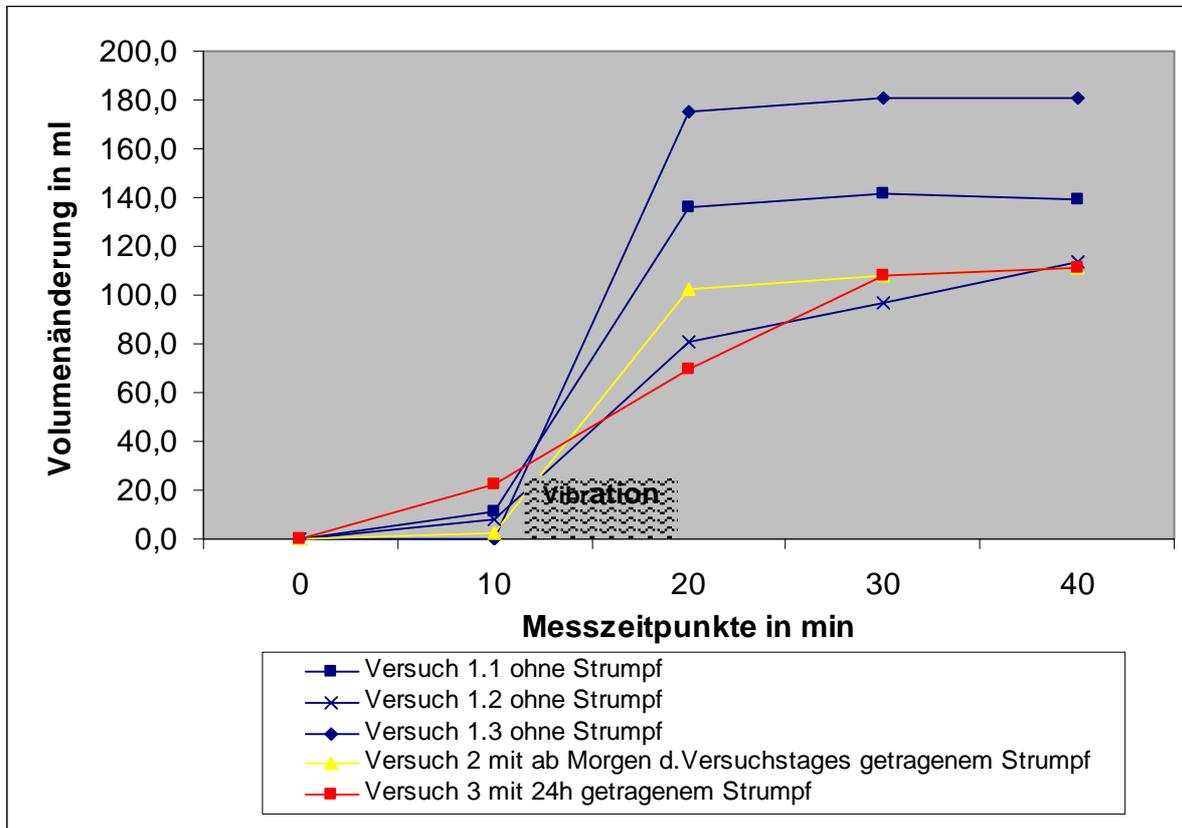


Abb.13: Wiederholungsversuche: Proband 13, männlich, 24 Jahre, BMI 28,01 kg*m⁻²
 1.1 nach anstrengendem, überwiegend stehend verbrachten Tag, Versuchsbeginn um 16:00 Uhr
 1.2 nach fast ausschließlich sitzend verbrachtem Tag, Versuchsbeginn um 15:55
 1.3 morgens 08:30 Uhr, Proband kommt direkt von zu Hause, 15 min Fahrtweg.

Ohne auf die einzelnen Messwerte eingehen zu wollen, zeigt sich schon optisch, dass die Tätigkeiten vor Versuchsbeginn und die Tageszeit Einfluss auf den Verlauf der Volumenänderungen haben. Gerade im Versuch morgens ergab sich die größte Volumenzunahme nach Vibrationsbelastung. Ein zuvor stark beanspruchtes Bein reagierte auf die gleiche Belastung nachmittags mit einer größeren Volumenzunahme als ein Bein, welches nur wenig Belastung tagsüber erfahren hat. Allerdings nahm das

USF-Volumen des zuvor belasteten Beines weniger stark zu als das morgendliche ausgeruhte Bein.

Die Volumenänderungen des Nachmittag-Versuches beim zuvor wenig beanspruchten Bein (Versuch 1.2) bewegten sich in den Dimensionen der Versuche 2 und 3, stiegen im Verlauf nach Vibrationsbelastung sogar stärker an als bei diesen Versuchen mit Tragen eines Reisekniestrumpfes während der Vibration im gleichen Zeitraum. Zur Vereinheitlichung wurde deshalb der Morgenversuch (Versuch 1.3) als Vergleich zu den Versuchen 2 und 3 zugrunde gelegt.

Ergänzend seien die Wiederholungsuntersuchungen von Probandin 17 in Abb. 14 (weiblich, 21 Jahre, BMI $20,90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) erwähnt. Zur Klärung der Einflussgrößen Tages- und Jahreszeit wiederholten wir bei ihr Versuch 1 ebenfalls mehrfach:

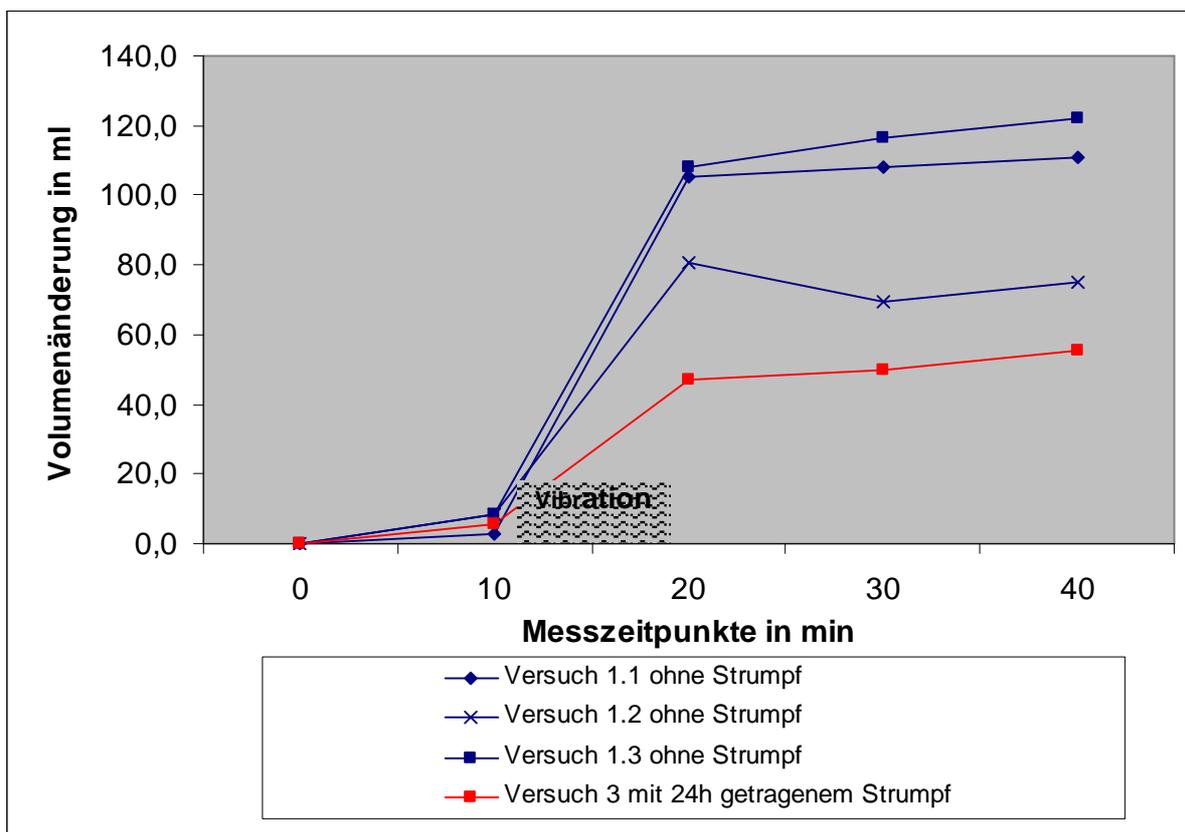


Abb.14: Wiederholungsversuche: Probandin 17, weiblich, 21 Jahre, BMI $20,90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$

Versuch 1.1 und 1.2 wurden im Abstand von 3 Wochen im Januar jeweils ab 10:35 Uhr und 10:15 Uhr durchgeführt. Der vorherige Tagesablauf sowie das Wetter unterschieden sich nur marginal. Trotzdem zeigte die Probandin in der ersten

Wiederholung eine geringere Volumenzunahme infolge der Vibrationsbelastung, die aber trotzdem weit über der Zunahme lag, die die Probandin durch das Tragen des Reisekniestrumpfes in Versuch 3 erfuhr.

Die zweite Wiederholung (Versuch 1.3) fand am 20.05. ab 18:10 Uhr bei einer Außentemperatur von circa 18°C statt. Hier zeigte sich nun ein fast identischer Kurvenverlauf zu Versuch 1.1 trotz unterschiedlicher Jahres- und Tageszeit.

Versuch 1.1 diente letztlich als Vergleich zu den Versuchen 3, 4 und 5.

Auf die Darstellung der Kontrollversuch 4 und 5 wurde zum Zwecke der besseren Übersichtlichkeit verzichtet.

Letztlich zu betonen ist, dass in den Abbildungen 12 bis 14 tendenziell die gleichen positiven Effekte des Strumpftragens zu erkennen sind, nämlich geringere Volumenzunahmen nach den Vibrationsbelastungen.

3.8 Oberschenkel-Temperatur-Messungen

Die Messung der Oberschenkeltemperatur über dem distalen Bereich des M. vastus lateralis fand in Versuch 1 bei 13 und in Versuch 3 bei 17 von 18 Personen orientierend statt.

Hierbei zeigte sich, dass die Hauttemperatur über dieser Region in Versuch 1 nach Vibrationsbelastung im Vergleich zur direkt vor der Vibration durchgeführten Messung in 8 von 13 Fällen anstieg, bei fünf Personen jedoch abfiel. In Versuch 3 konnte in 13 von 17 Fällen eine Temperaturerhöhung festgestellt werden, in 4 Fällen ein Temperaturabfall.

Damit erhöhte sich in Versuch 1 bei 61,5 % der Fälle die Oberschenkeltemperatur, in Versuch 3 waren es dagegen 76,5 %. Die Temperaturänderungen in diesen zehn Minuten erstreckten sich in Versuch 1 von -0,6°C bis 2,6°C und in Versuch 3 von -1,0°C bis 2,8°C.

Beim Vergleich der Oberschenkel-Temperaturänderungen fielen bei einigen Probanden Parallelen zu den USF-Volumenänderungen auf. Bei der Betrachtung der Vorzeichen der Temperaturänderungen fanden sich in Versuch 1 10 von 13 Probanden, deren Vorzeichen mit dem der Volumenänderung übereinstimmten. Drei Probanden trugen in

beiden Untersuchungspunkten ein negatives, sieben Probanden jeweils ein positives Vorzeichen.

In Versuch 3 stimmten 9 von 17 Probanden in Ihren Vorzeichen der Volumen- und Temperaturänderung überein. Dabei stehen drei negative Vorzeichen sechs positiven gegenüber.

Unter den acht Probanden, deren Vorzeichen im Vergleich beider Untersuchungspunkte des Versuches 3 nicht identisch waren, fanden sich zwei von drei Probanden wieder, die schon in Versuch 1 unterschiedliche Vorzeichen aufwiesen.

Es gibt außerdem einen Probanden, der in Versuch 1 sowohl einen Temperatur- als auch einen USF-Volumen-Anstieg zeigte und in Versuch 3 einen Temperatur- und Volumenabfall. Dieses Phänomen konnte bei keiner anderen Versuchsperson nachgewiesen werden, alle anderen Vorzeichen der Probanden waren in den Versuchen 1 und 3 gleichgerichtet.

Anzahl Probanden	Versuch 1		Versuch 3	
	Vorzeichen negativ	Vorzeichen positiv	Vorzeichen negativ	Vorzeichen positiv
OS-Temperaturänderung	5	8	4	13
USF-Volumenänderung	4	9	10	7
Vorzeichengleichheit	3	7	3	6

Tab. 5: Gegenüberstellung der Temperatur- und Volumenänderungen und Vergleich der Anzahl gleichgerichteter Veränderungen. (Versuch 1: 13 Probanden, Versuch 3: 17 Probanden)

4. Diskussion

Unter der Vorstellung einer durch Vibrationsbelastung induzierten Ödementwicklung und Durchblutungssteigerung sollte gezeigt werden, dass diese Veränderungen am Unterschenkel-Fuß-Bereich als Volumenänderung mit Hilfe eines Plethysmographen sichtbar gemacht werden können (Abb.4, S.14). Darüber hinaus wurde untersucht, ob durch das Tragen von Reisestrümpfen die Ödembildung am Unterschenkel beeinflusst wird (Abb.4 S. 14, Abb. 5 S.16).

Die Lonflit- Studien zeigten bereits, dass durch das Tragen von Reisestrümpfen die im Flug entstehenden Ödeme reduziert werden konnten. Positiv dabei war, dass die Probanden die Strümpfe gut tolerierten und es keine Beschwerden oder Nebenwirkungen gab [22].

Im Rahmen unserer Untersuchungen sollte jedoch die schnelle Änderung des Beinvolumens unter Laborbedingungen im Vordergrund stehen, so dass lange in-flight-Versuche wie in den Lonflit- Studien umgangen werden könnten. Die Vibrationsbelastung sollte ein Modellversuch sein, die häufig propagierte Nützlichkeit des Tragens von Reisestrümpfen in einem kurzen Labortest zu überprüfen. Ödementwicklung als möglicher ursächlicher Faktor für die gemessenen USF-Volumenänderungen wurde in einer parallelen Studie verifiziert [23]. Durch Ultraschall-Messungen der Gewebeschichten im Unterschenkel- Bereich konnte eine Dickenzunahme der Haut um drei bis sechs Prozent festgestellt werden. Dies zeigte sich nach gleicher Vibrationsbelastung wie in der vorliegenden Versuchsreihe, allerdings in signifikantem Umfang nur bei männlichen Probanden. Dass Vibrationen eine Durchblutungssteigerung bedingen, wurde schon 2001 von Kersch-Schindl et al. beschrieben. Eine neun Minuten stehend absolvierte Vibrationsbelastung bei 26 Hz genügte, um einen Anstieg des relativen Blutvolumens des Musculus quadriceps und gastrocnemius sowie einen erhöhten Blutfluss in der Arteria poplitea bei sinkendem peripheren Widerstand nachweisen zu können [24].

Diese Beobachtungen konnten in den vorliegenden Versuchsreihen nur teilweise bestätigt werden. Lediglich 11 von 18 Probanden nahmen während der Vibrationsbelastung ohne Reisekniestumpf an plethysmographisch gemessenem Volumen zu (siehe Abb. 4, S.14). Darüber hinaus zeigten sich starke interindividuelle

Unterschiede im Probandenkollektiv (Vergleiche Abb. 8, 10 und 11, S. 22 ff.). Natürlich darf an dieser Stelle nicht vergessen werden, dass es sich um dynamische Versuchsreihen handelt, die erst in Zusammenschau des gesamten Versuchsablaufes vollständig interpretiert werden können und daher in den Einzelfallbetrachtungen eingehender beschrieben werden.

Klinische Fallbeschreibungen stützen die Beobachtungen. Über die Einteilung in Risikogruppen hinaus konnte bis heute eine Systematik, wer wann wie von einer Thrombose betroffen wird, nicht erstellt werden. Auch Reisenden mit geringem Thromboserisiko kann dies widerfahren. Nur im Einzelfall treten dramatische Folgen wie eine Lungenembolie auf, wie es an langen Untersuchungsreihen und hohen Beobachtungszahlen beschrieben wurde [15, 17, 29]. Das zeigt, dass sehr starke individuelle Faktoren im Spiel sind (Varikosis, erhöhte Viskosität, Vorbelastung vor der Reise etc.). Vergleicht man etwa die Abbildungen 8 und 11 (S. 22 und 25), so kann der unterschiedliche Versuchsverlauf nicht allein mit dem Geschlechtsunterschied erklärt werden, zumal dieser nicht in signifikantem Umfang nachgewiesen werden konnte. Bei dem einen Probanden stieg das Volumen im Versuch ohne Strumpf kontinuierlich an; bei dem anderen war es im Versuch mit Strumpf zu beobachten. Analog dazu änderte sich das Volumen bei gleichem Versuchsaufbau mit Strumpf beim ersteren zickzackartig. Beim zweiten Probanden ergab sich der Zickzack-Verlauf umgekehrt dazu im Versuch ohne Strumpf. Wer nun unter realen Flugbedingungen eher gefährdet ist, eine Reisthrombose zu entwickeln, kann an dieser Stelle nur vermutet werden. Allein diese beiden Probanden zeigen aber deutlich, dass eine Verallgemeinerung für die Risikostratifizierung eines potenziellen Reisenden nach Ausschluss der bereits bekannten Risikofaktoren wie Thrombophilie, Operationen oder maligne Erkrankungen derzeit noch nicht möglich ist. Einen Erklärungsansatz bieten indirekt die vorangegangenen Studien. In der Literatur wurde meist nur der Ablauf nach der (Flug-) Belastung geschildert, wohingegen die Vorflugphase abgesehen von einigen anamnestisch erfassten Grunderkrankungen meist völlig unberücksichtigt blieb [17, 29]. Die Vorbedingungen bei Antritt von Flugreisen wie langes Stehen, Gehen, der Hydrierungszustand und das Klima tragen jedoch unserer Meinung nach in hohem Maße dazu bei, eine Thrombogenese zu beeinflussen. Aryal und Al-khaffaf geben auch zu bedenken, dass Arbeiten, die symptomatische venöse Thrombembolien beschrieben, in ihren Studien keine Duplex-Evaluation vor Antritt der Flugreise

durchgeführt haben und daher einen präexistenten Thrombus nicht ausschließen konnten. Im Gegensatz dazu wurden in den vielen Studien zur Risikostratifizierung symptomatischer und asymptomatischer Unterschenkelthrombosen Personen mit duplexsonographisch nachweisbaren Thromben bereits vor Reise-/Versuchsbeginn ausgeschlossen [17, 22, 25]. Von daher ist es nicht verwunderlich, dass unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Verteilung und Vorhersagbarkeit thromboembolischer Ereignisse erzielt wurden.

Hierin bestehen die entscheidenden Unterschiede unserer Arbeit zu anderen Arbeiten in der Literatur. Nicht nur der Verzicht auf kostspielige in-flight-Versuche muss hervorgehoben werden. Wir haben unseren Versuch dahingehend modifiziert, den Versuch bereits 24 Stunden vorher durch Anlegen der Reisestrümpfe zu kontrollieren. Wir waren dazu gezwungen, nachdem im Versuch, in dem die Probanden die Reisestrümpfe erst am Morgen des Versuchstages anlegten, nur sehr geringfügige Veränderungen des Beinvolumens im Vergleich zu dem Versuch ohne Reisestrumpf auftraten (Abb.6, S.18).

Wir konzentrierten uns in allen Versuchen auf die Volumenänderungen nach der absolvierten Vibrationsbelastung, da durch genannte individuelle Unterschiede ein direkter Vergleich des gesamten Versuchsablaufes aller Probanden nicht möglich war. In diesem zwanzigminütigen Zeitintervall sah man zum Teil beeindruckende Volumenzunahmen, dargestellt in Abb. 5, S. 16: Unterschenkel-Fuß- Volumenänderung nach erfolgter Vibrationsbelastung bis zum Versuchsende bei unbestrumpftem und bestrumpftem Bein. (Siehe auch Abb. 4, S. 14 sowie Abb. 6 und 11). Hier erfolgte bei den Probanden mit mindestens 24-stündigem vorherigen Tragen des Reisestrumpfes eine signifikant größere Volumensteigerung gegenüber dem Volumenanstieg, der nach Vibrationsbelastung ohne Reisestrumpf festgestellt wurde.

Wir schlussfolgerten, dass der erhöhte Gewebe- und Ödemdruck des Kompressionsstrumpfes durch das Ausziehen zur plethysmographischen Messung wegfiel. Das bedeutet, das vorher komprimierte „trocken gelegte“ Gewebe hat sich mit Volumen aufgefüllt. Dass dieser Volumenauffüllungsprozess unterschiedlich verlaufen konnte, hing wahrscheinlich mit der unterschiedlichen Volumenkapazität der Gefäße und des perivaskulären Gewebes des jeweiligen Probanden zusammen. Dies konnte von uns vorher nicht überprüft werden, muss aber in jedem Falle in die Überlegungen

einbezogen werden. In welchem Füllungszustand sich das Gewebe vor Versuchsbeginn befand ist daher unbekannt. Zu beachten ist, dass alle Volumenänderungen bei vorherigem Strumpftragen ein positives Vorzeichen hatten. Trug der Proband keine Reisestrümpfe, so stieg das USF-Volumen nicht nur weniger stark an als nach Vibrationsbelastung mit Kompressionsstrumpf, sondern fiel in 2 von 18 Fällen sogar schon während dieser Beobachtungsperiode ab (Abb. 9, S. 23). Dies soll jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass gerade nach Vibration bei einigen Probanden beträchtliche Volumenzunahmen zu verzeichnen waren (Abb. 5, S.16 und Abb. 8, S. 22). Überträgt man diese Erkenntnis auf den Flugalltag, so erscheint gerade die Entspannungsphase nach einem Flug als prädestinierend für weitere Volumenzunahmen, dies umso mehr, wenn man nach sehr langen Reisen sitzend unter Wegfall der Muskelpumpe ausruht. Nach dem Ausziehen der Kompressionsstrümpfe kann in unserem Versuch ähnliches beobachtet werden, was sicher eine damit einhergehende Risikosteigerung für Gerinnselbildung bedeutet. Diese Befunde decken sich auch mit der Beobachtung, dass die Reisetrombose bis zu 15 Tage oder sogar noch später nach der eigentlichen Reise erstmals auftreten kann. Nur 49 % der Reisetrombosen manifestieren sich bereits im Flug oder direkt danach [8].

Das Ergebnis, dass es keinen signifikanten Geschlechtsunterschied in den Reaktionen auf die Vibrationsbelastung gibt, erstaunt zunächst, da bekanntermaßen Frauen häufiger als Männer zur Ödembildung neigen, ob nun durch die Einnahme oraler Kontrazeptiva oder durch die Entwicklung idiopathischer Ödeme [26,27].

Allerdings bildet der Versuch nur das Gesamt- Unterschenkel-Fuß-Volumen ab und nicht die einzelnen Kompartimente.

Unsere Ergebnisse diesbezüglich bestätigen sich in den Studien zur Reisetrombose: Demnach gab es keinen Unterschied in der Entwicklung tiefer Venenthrombosen zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht in den Lonflit-Studien 3 und 4 [17,22].

Die Ähnlichkeit der Reaktionsformen beider Geschlechter in unseren Versuchen spiegelt sich in der späteren Schilderung der einzelnen Kurvenverläufe über den gesamten Versuch und die damit einhergehende Einteilung in Reaktionstypen wider (siehe S.38 ff.). Die dargestellten Gruppen unterscheiden sich nicht durch Prävalenz

einer bestimmten Gruppe für nur ein Geschlecht. Vielmehr finden sich in allen Gruppen jeweils männliche und weibliche Probanden zu etwa gleichen Teilen.

Die Unterschenkel-Fuß-Volumenänderungen vor und während der Vibrationsbelastung sind zwar in dieser Versuchsserie nicht signifikant (Abb. 4, S.14). Dennoch spiegeln sie eine Tendenz wider, die möglicherweise mit einem größeren Probandenkollektiv bestätigt werden kann: Schon das bloße Ausziehen des Reisestrumpfes genügte bei zehn von achtzehn Probanden, das USF-Volumen in den ersten zehn Versuchsminuten stärker steigen zu lassen als im Versuch ohne vorherige Bestrumpfung. Dies demonstriert, welche Wirkung die Reisestrümpfe entfalten.

Auch während der Vibrationsbelastung ergaben sich tendenziell unterschiedliche Volumenänderungen. So zeigten 8 von 18 Probanden eine im Betrag geringere Volumenverschiebung bei Vibration mit Reisestrumpf als ohne. Dies spricht für eine zumindest teilweise direkte Schutzwirkung der Reisestrümpfe vor Entwicklung von Ödemen und Pooling des venösen Blutes in den unteren Extremitäten.

Sicherlich kann bei einer Probandenzahl von vier nicht auf allgemeine Reaktionen geschlossen werden. Aber gerade die Untersuchungen des USF-Volumens bei Vibrationsbelastung mit erst seit dem Morgen des Versuchstages getragenen Kompressionsstrumpf zeigen die Wichtigkeit einer langfristigen Thromboseprophylaxe vor Reiseantritt. Im Zeitintervall nach Vibrationsbelastung ergaben sich nämlich keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Vibration ohne und mit Reisestrumpf in den Versuchen 1 und 2 (siehe Abb.6, S.18). Und hierbei soll nicht die Quantität der untersuchten Individuen ausschlaggebend sein, sondern die schon ohne statistische Auswertung sichtbaren qualitativen Unterschiede in den Volumenänderungen von Versuch 1 über Versuch 2 bis hin zu Versuch 3 mit mindestens 24 Stunden getragenen Reisekniestrumpf. Obwohl diese vier Probanden unterschiedliche Reaktionstypen verkörpern, reagierten sie doch in ihrem gegebenen Rahmen alle gleich. Abbildung 6 zeigt deutlich, dass sowohl die Versuchsperson 4 mit nur geringen Volumenänderungen in allen Versuchen als auch Versuchsperson 6 mit den starken Volumenzunahmen beide dazu in der Lage sind, nach einer Vibrationsbelastung und zuvor 24stündigem Tragen eines Reisestrumpfes ihr Beinvolumen jeweils um den Betrag der Volumenänderungen aus Versuch 1 und 2 zu verdoppeln. Eine Vervielfachung des

Volumens von Versuch 1 zu Versuch 2 kann wider Erwarten bei allen vier Probanden nicht beobachtet werden.

Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den Beobachtungen unserer parallel durchgeführten Versuchsreihe, die nach gleicher Vibrationsbelastung sonographisch Schichtdicken an der Haut über der Tibiakante bei ungeschütztem und bestrumpftem Bein verglich. Hierbei ergaben sich, abgesehen von den weiblichen Probanden, kaum Unterschiede, wenn der Proband den Kompressionsstrumpf nur kurz getragen hatte. Erst bei mindestens 24-stündiger vorheriger Bestrumpfung ergaben sich bei beiden Geschlechtern signifikante Unterschiede zur Vibrationsbelastung ohne Kompression. Die Versuchsreihe 2 mit kurzzeitig getragenen Strumpf wurde im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit bei 20 Probanden durchgeführt [23].

Nach Durchführung von jeweils fünf exemplarischen Kontrollversuchen für die Versuche 1 und 3 erscheint ein signifikanter Vibrationseffekt in unseren Versuchsreihen fraglich. Es zeigten sich nicht wie erwartet geringere Volumenänderungen bei Verzicht auf die Vibrationen, sondern vereinzelt sogar stärkere. Dass die Vibrationsbelastung trotzdem einen Effekt hatte, lässt sich anhand der Kurvenverläufe aus den vier bzw. fünf Versuchsreihen der Probanden 13 und 17 ableiten, teilweise dargestellt in den Abbildungen 7,10 und 14 (S. 19, 24 und 28). Beide Probanden entwickelten einen äußerst starken Volumenanstieg fast ausschließlich während der Vibrationsphase und zeigten vor- und nachher ausgesprochen wenige Volumenänderungen. Bei diesen Probanden stiegen die Volumina in den Kontrollversuchen zwar auch stark an, erreichten jedoch nicht eine so schnelle Volumensteigerung wie bei den Versuchen mit Vibrationsbelastung. Stattdessen ließ sich ein eher kontinuierlicher Volumenanstieg verzeichnen, der auch nach Ortswechsel anhielt. Wir vermuten, dass das Probandenbein nur zu einer bestimmten maximalen Füllung fähig ist, die das Bein durch Vibrationsbelastung schneller erreicht als durch bloßes Sitzen. Interessanterweise unterscheiden sich gerade diese beiden Probanden gravierend in ihren körperlichen Voraussetzungen: Proband 13 aus Abb.10 war männlich und hatte einen BMI von $28,01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Proband 17 aus Abb. 14 war weiblich bei einem BMI von $20,90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Das Modell der begrenzten Füllungsfähigkeit des Extrazellulärraumes lässt sich auch auf die Anamnese vor Reiseantritt übertragen: Herrscht vor Reiseantritt ein heißes

Sommerklima wie in den Sommern 2003 und 2006, kann man davon ausgehen, dass die Beinvenen stark gedehnt und volumengefüllt sind. Auch kann man annehmen, dass unter solchen Klimabedingungen das Plasma- und auch das Extrazellulärvolumen vergrößert sind. Unterschenkelödeme entstehen schon allein im Rahmen eines Hitzeödems insbesondere bei unakklimatisierten Personen durch periphere Vasodilatation und Orthostase [28]. Unter solchen Bedingungen ist die kompressionsbedingte Volumenverkleinerung der Unterschenkelgewebe (Venen, Gewebe) durch das Tragen der Reisekniestrümpfe besonders ausgeprägt. Die Folge ist die Verkleinerung des Gefäßdurchmessers, was bei gleich bleibendem Blutvolumen zu einem beschleunigten Durchfluss führt. Dies wiederum wirkt einer stasebedingten Thromboseentwicklung der Virchow-Trias entsprechend entgegen.

Reisestrümpfe sind auch deshalb von Vorteil, weil sie beim langen Stehen in der Warteschlange verhindern, dass sich die Gewebe mit Volumen auffüllen. Diese Faktoren muss man bei der Interpretation der Daten berücksichtigen. Die statistischen Untersuchungen, ermittelt an Millionen von Reisenden oder in randomisierten Studien an Hunderten, haben zwar Ergebnisse erbracht [14, 15, 16,17, 29 etc.]. Deren praktische Verwertbarkeit ist jedoch im Einzelfall schwer überprüfbar bzw. muss sogar angezweifelt werden. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren müssten die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeiten neu interpretiert werden. Man kommt dabei zunächst um kasuistische Beschreibungen nicht herum. Deshalb wurden in den Abbildungen 8 bis 16 viele Einzelversuche dargestellt. Nicht für alle Ergebnisse, insbesondere für die Kontrollversuche, können wir derzeit eine umfassende Begründung geben.

Bei der Interpretation der Ergebnisse treten weitere Schwierigkeiten auf: Ähnliche oder gar gleiche Versuche wurden bislang nicht unternommen. Im Vergleich muss man daher immer anders gelagerte Experimente oder Studien heranziehen, was letztlich wenig zufrieden stellend ist. Parallelen ergeben sich in einigen Ansätzen mit der Osteoporoseforschung. Hier erfolgte ursprünglich die Wahl der Frequenz von 30 Hz, da die Typ IIa-Fasern der Skelettmuskulatur eine Kontraktionsfrequenz von 20-70 Hz aufweisen [30]. An diese Forschungen angelehnt konnte das dabei entstehende Ödem als Grundlage unserer Idee der schnellstmöglichen Ödementwicklung dienen.

In Quellen, die sich im weitesten Sinne mit der Reisetrombose auseinandersetzen, wurden nur Experimente geschildert, die sich auf die Dauer eines gesamten Fluges erstrecken [8, 17, 22, 31]. Aber nie wurde der Versuch unternommen, das Procedere zu

verkürzen. Durch Vibration wurde eine unserer Meinung nach gute Möglichkeit gefunden, dieses zu erreichen. Uns interessierte dabei nur das Phänomen der Ödementwicklung, für die drei Faktoren relevant sind:

- der Hydrierungszustand und damit verknüpft die Größe des Plasmavolumens
- die Durchblutung des Gewebes, gesteuert über die präkapillären Sphincteren und Arteriolen
- und die Volumenkapazität der Venen in der unteren Extremität.

Während der erste Faktor bei unseren Versuchen nicht zu beurteilen und untersuchen war, ließen sich doch über die Durchblutung und Volumenkapazität der Venen anhand unserer Untersuchungen einige Aussagen machen. Auf Durchblutungsveränderungen wiesen die Rötungen, die bei einigen Probanden sichtbar waren, sowie eine messbare Erwärmung der Haut hin (siehe S.29-30). Dies wurde in der parallelen Studie von Nowak et al. festgestellt [23].

Unter den Gesichtspunkten unserer Betrachtungsweise finden wir immer weniger Parallelen mit anderen Studien, z.B. was die Betrachtungen Vorher- Nachher sowie Kurzzeitversuche angeht. Wir waren daher dazu gezwungen, uns eine eigene Systematik zu erarbeiten, um die Ergebnisse zu ordnen. Es erscheint uns wichtig, dass in Zukunft die intensivere Verknüpfung des klinischen Denkens mit der Reisemedizin vonnöten ist, um die fehlenden Elemente zur Klärung der Entstehung und Prävention einer Reisetrombose zu liefern.

Trotz einiger signifikanter Ergebnisse konnten also die 18 Probanden, die mindestens an den Versuchen 1 und 3 teilgenommen hatten, in ihren Reaktionen kaum zusammenfassend dargestellt werden. Die Vektoren der Volumenänderungen divergierten zu allen fünf Zeitpunkten stark. Beim Vergleich der Reaktionsverläufe fielen hierbei dennoch verschiedene Parallelen zwischen den Probanden unabhängig vom Geschlecht auf. Wir haben versucht, aus diesen ähnlichen Reaktionsmustern unterschiedliche Reaktionstypen zu isolieren.

Typ I: Der Nonresponder

Der Nonresponder zeigt im Betrachtungszeitraum nach erfolgter Vibrationsbelastung im Versuch ohne Reisetripf eine höhere Volumenzunahme im Unterschenkel- Fuß-

Bereich (USF- Bereich) als im Versuch mit vorherigem 24-stündigen Tragen des Reisesstrumpfes. Hierzu gehörten die Probanden 1, 3, 9 und 12 (Abb. 8, S. 22).

Typ II: Der Responder

Allgemein haben wir im Rahmen unserer Versuche solche Probanden als Responder eingestuft, die nach Vibrationsbelastung mit dem Reisekniestrumpf während der darauf folgenden strumpffreien Plethysmographie eine höhere Volumenzunahme hatten als ohne den Strumpf. Außerhalb dieser strengen Interpretation boten diese Probanden darüber hinausgehende unterschiedliche Reaktionsformen, die ebenfalls zu Gruppen zusammengefasst werden konnten.

Typ II.1:

Der Proband reagiert auf die Vibrationsbelastung mit Reisesstrumpf mit gleicher oder einer höheren Volumenzunahme in diesem Zeitraum als ohne Reisesstrumpf.

Bei der Versuchsreihe ohne Tragen eines Kompressionsstrumpfes handelt es sich allerdings teilweise um Verschiebungen in den negativen Bereich, die als Vergleich zu den Verschiebungen mit Reisekniestrumpf dienen.

In dieser Gruppe kann man zusätzlich Vibrationsstabile, welche ihr Beinvolumen während der Vibrationsbelastung kaum ändern von den Vibrationsempfindlichen unterscheiden, die ihre größten Volumenzunahmen gerade in dieser Phase erfahren.

Erwähnt werden sollte an dieser Stelle auch, dass sich diese Charakteristiken unabhängig vom Tragen oder nicht Tragen des Kompressionsstrumpfes zeigen.

In diese Gruppe gehörten 5 Probanden, z.B. Proband 2 aus Abb. 9, S. 23.

Typ II.2:

Der Proband reagiert auf die Vibrationsbelastung mit Reisesstrumpf mit geringerer oder gar negativer Volumenänderung, also mit einer Volumenabnahme, in diesem Zeitraum als ohne Reisesstrumpf.

Gerade die Probanden mit geringeren Volumenänderungen bei Vibrationsbelastung mit als ohne den Kompressionsstrumpf scheinen die echten Responder der Kompressionsbehandlung zu sein. Wie bei den Vibrationsempfindlichen aus Typ II.1 nimmt das USF-Volumen dieser Probanden fast ausschließlich in der Vibrationsphase zu. Wenn sie nun den Kompressionsstrumpf tragen, verringert sich ihre

Volumenzunahme durch die Vibrationsbelastung drastisch. Hierzu zählen die Probanden 13, 15 und 17 (Abb. 10, S. 24, Abb. 14, S. 28).

Zu den Probanden mit negativer Volumenänderung bei Vibrationsbelastung mit Kompressionsstrumpf gehören unter anderem die Probanden 7, 8 und 16 (Abb. 11, S.25). Während sie auf Vibration ohne Reisestrumpf und die darauf folgende Nachbeobachtungszeit mit einer mäßigen, stetigen Volumensteigerung reagieren, zeigen sie beim ständigen Wechsel zwischen An- und Ausziehen des Reisestrumpfes während des Versuches 3 eine beeindruckende entsprechend gerichtete Dynamik. Wir vermuten hinter diesem Auf und Ab der Volumenänderungen, dass diese Probanden schnell reagierende Gewebeabschnitte besitzen. Es kann natürlich auch mit einer unterschiedlich starken Muskelaktivität erklärt werden. Eine Aktivierung der Muskelpumpe ist während der Versuche nicht ausgeschlossen. Uns stellt sich nun die Frage, ob gerade diese Personen besonders thrombosegefährdet sind oder ob vielleicht auch sie in besonderem Maße von einer Kompressionsbehandlung profitieren könnten. Als weitere Vertreter der Responder vom Typ II.2 sind noch drei Probanden zu erwähnen, die eventuell im Rahmen erweiterter Untersuchungen noch sicherer anderen bereits beschriebenen Gruppen zuzuordnen sind. Beispielhaft sei hier Probandin 20 genannt, die zwar wie die echten Responder eine beeindruckende Reduktion der Volumensteigerung nach Vibrationsbelastung durch das Tragen des Kompressionsstrumpfes erreicht, aber in dieser Versuchsphase sogar eine negative Volumenbilanz erzielt. Ähnlich uneindeutig verhält es sich mit den restlichen zwei Probanden, VP 18 und 4.

Die aufgeführte Gruppeneinteilung darf nicht unkritisch betrachtet werden. Abgesehen von den wenigen eindeutigen Respondern bieten zahlreiche Kurvenverläufe großen Spielraum für anderweitige Interpretationen.

Fragt man zum Beispiel Probandin 1 (Abb. 8, S. 22) nach ihren subjektiven Empfindungen, so schildert sie ein besseres Ertragenkönnen der Vibrationsbelastung, wenn sie dabei den Kompressionsstrumpf trägt. Sie sitze nach eigenen Angaben weniger angespannt auf dem Stuhl vor der Rüttelplatte. Unter der Vorstellung einer stärkeren Volumenzunahme beim Tragen des Reisestrumpfes in einer entspannteren Testsituation würden sich demnach die Testergebnisse von VP 1 in den Versuchen auch anders erklären lassen. Presst die Person im Versuch ohne den Reisestrumpf

durch vermehrte Muskelanspannung das Blut stärker aus den Unterschenkeln, würde dies zu einer negativen Volumenänderung direkt nach Vibration führen und anschließend in der Nachbeobachtungsphase bei Entspannung nun eine größere Volumenzunahme bewirken als im Versuch mit Kompressionsstrumpf. Demzufolge wären beide Untersuchungen gar nicht vergleichbar, es sei denn unter zusätzlichem Einsatz einer Messeinheit zur Registrierung der Muskelaktivität. So bleibt schließlich eine geringe Unsicherheit, ob Probandin 1 unter realen Flugbedingungen von der Kompressionsbehandlung nicht doch profitieren würde.

Dieses Beispiel lässt sich auf viele Probanden und deren Kurvenverläufe übertragen. Negative Volumenänderungen traten in unserem Probandenkollektiv häufiger als erwartet auf. Sie lassen sich leicht mit dem Einsatz der Muskelpumpe erklären, was aber im Rahmen unserer Arbeit nicht berücksichtigt werden konnte. Diese kann durch das Auspressen der Gewebe zu einer Volumenabnahme führen, welche z.T. sehr lange anhält bzw. nachwirkt. Ein weiterer Schritt wäre es also, Volumenänderungen mit Muskelaktivitäten bei Vibrationsbelastung zu vergleichen. Die Zusammenhänge von Vibration und Muskelstimulation sind bereits hinlänglich bekannt und werden nicht zuletzt in den Bed-Rest-Studien zum Muskelerhalt und –aufbau eingesetzt [32]. Dass die Muskelaktivität als unbekannte Größe die Aussagekraft unserer Untersuchungen einschränkt, wird auch anhand der Kontrolluntersuchungen sichtbar. Sie sollten zeigen, wie viel Volumenänderung allein durch Ortswechsel bedingt ist. Am Ergebnis sieht man, dass dieser Faktor keine unerhebliche Betrachtungsgröße ist. Zur Optimierung unserer Versuchsanordnung sollte man bei erneuter Untersuchung darauf achten, Plethysmographie und Vibrationsbelastung soweit zu verbinden, dass ein Ortswechsel nicht mehr nötig wird.

Ein weiteres Problem unserer Versuche ist ein systematischer Fehler hinsichtlich der Jahreszeit der durchgeführten Untersuchungen. Versuchsreihe 1 fand fast ausschließlich in der kalten Jahreszeit zwischen dem 17.10. und 05.02. statt. Lediglich eine Wiederholung wurde bei wärmeren Außentemperaturen am 20.05. durchgeführt. Versuchsreihe 2 begann ebenfalls im Winter am 13.12. und endete am 17.12. desselben Jahres. Versuchsreihe 3 erstreckte sich über einen Zeitraum vom 23.05. bis 08.07. Die Probanden klagten vor allem am Vortag über das Tragen-Müssen der Reisekniestrümpfe bei Temperaturen bis zu 30°C. Bei Versuchsdurchführung am

Morgen des darauf folgenden Tages erstreckte sich das Temperaturspektrum der Außentemperaturen von 14 bis 25°C bei einer Durchschnittstemperatur von 19,3°C. Demnach fand nur diese Versuchsreihe ausschließlich im Sommer statt. Versuchsreihen 4 und 5 wurden parallel zueinander im Winter durchgeführt, Versuchsreihe 4 vom 18.12. bis 19.02. und Versuchsreihe 5 vom 08.01. bis 29.01.

Es sei an die zweite Wiederholung des Versuches 1 bei Probandin 17 erinnert (Abb.14) bei Außentemperaturen von etwa 18 °C, dann zeigt sich dort gar kein signifikanter Unterschied zu dem Versuch 1.1, welcher im Winterhalbjahr erfolgte. Vielleicht ist der Jahreszeitenaspekt weniger bedeutsam für unsere Untersuchungen, wenn man bedenkt, dass sich die Probanden meist in klimatisierten Räumen aufhielten und zumindest während des Versuches etwa gleiche Raumtemperaturen vorfanden. Außerdem begannen die plethysmographischen Untersuchungen erst nach einer Akklimatisierungsphase von mindestens zehn Minuten in den Räumen des Instituts. Ein zweiter systematischer Fehler ist der anfangs uneinheitliche Versuchsbeginn: In Versuchsreihe 1 wurden 9 von 18 Versuchen nach 10:30 Uhr begonnen und erfüllen daher nicht mehr die Bedingung der vormittäglichen Untersuchung. Auch 3 von 4 Versuchen der Reihe mit seit dem Morgen des Versuchstages getragenen Reisekniestrumpf wurden erst ab Mittag durchgeführt. Erst ab Versuchsreihe 3 fanden alle Untersuchungen einheitlich im Laufe des Vormittages statt.

Fraglich ist auch die Umrechnung in Milliliter. Nach Ausführungen der Autoren, die die Methode eingeführt haben, ist eine Kalibrierung mit einem Kalibrierkörper notwendig, der den unterschiedlichen Wadenformen Rechnung trägt [20]. Diesen benutzten wir leider nicht. Unter Verlust der Genauigkeit unserer Messungen reicht jedoch die durchgeführte Umrechnung mit dem Faktor 3,6 zur Visualisierung der Vibrationseffekte. Die USF-Volumenänderungen sind schließlich so bedeutend, dass sie weit über ein Fehlerintervall hinausreichen.

Dennoch konnte anhand der dargestellten Ergebnisse ein erstes Schema erstellt werden, welches die Volumenänderung beschreiben soll. Abb. 15 zeigt hierzu unsere Arbeitshypothese in einer übersichtlichen Form:

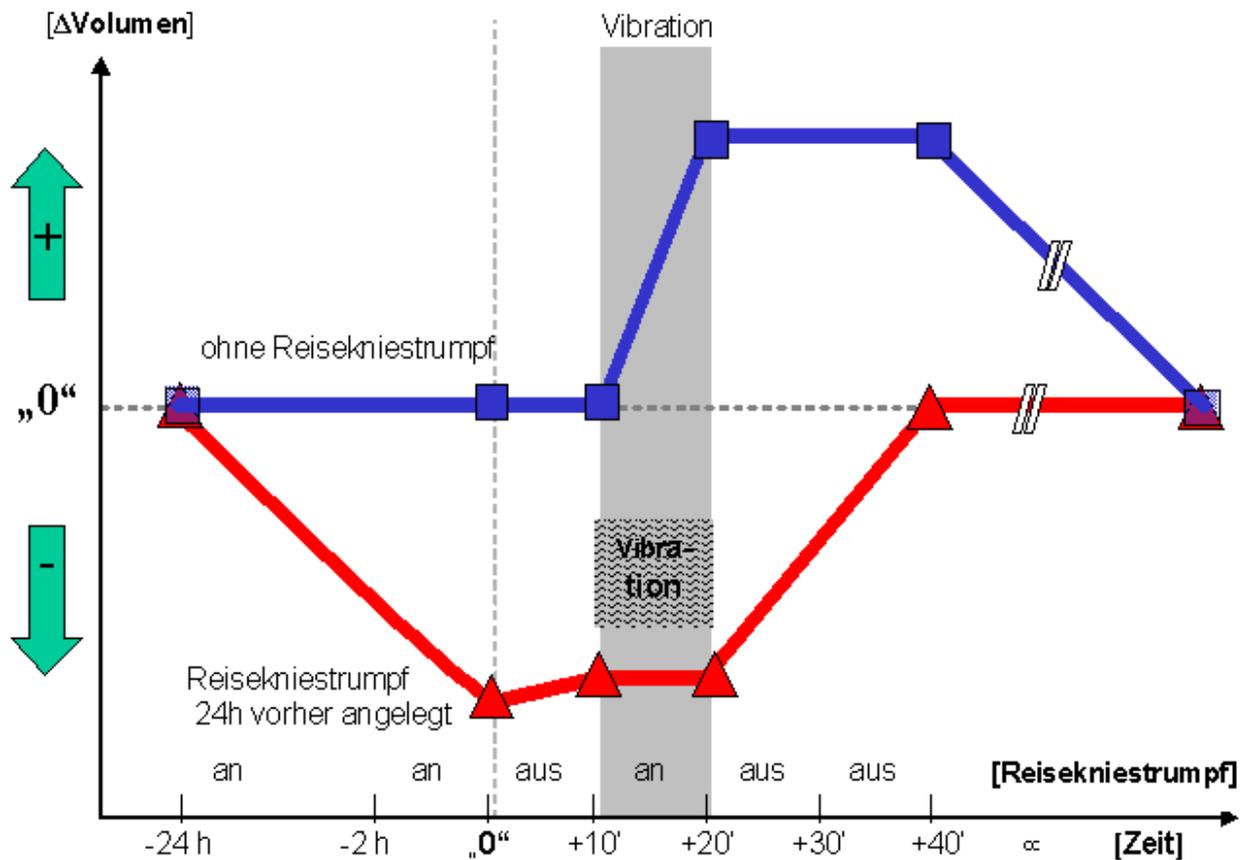


Abb. 15: Modell der USF-Volumenänderung: Blaue Kurve für Versuch 1 ohne Tragen eines Reisekniestrumpfes. Rote Kurve für Versuch 3 mit mindestens 24-stündigem vorherigen Tragen des Reisestrumpfes.

Infolge der Vibration kommt es im zuvor unkomprimierten Gewebe (blaue Kurve) zu einer massiven Zunahme, welche sich erst über längere Zeit wieder zurückbildet. Über die teils beeindruckenden Volumenzunahmen am ungeschützten Bein infolge der Vibrationsbelastung wurde bereits auf den Seiten 24 ff. sowie 39 ff. berichtet. Berücksichtigt man das Verhalten der Volumenänderungen bei den Probanden 2 (Abb. 9, S. 23) und 14, so kann ihre Volumenabnahme in Versuch 1 in den zwanzig Minuten nach Vibrationsbelastung als zusätzliches Indiz zur Verifizierung unserer These dienen. Schließlich zeigte sich diese negative Tendenz bei keiner anderen Versuchsanordnung. Durch lang anhaltende vorherige Kompression (rote Kurve) wird das Gewebe „ausgepresst“. Erst in der ungeschützten Situation nimmt es deutlich an Volumen zu. Dieses Phänomen kann bereits in den ersten zehn Versuchsminuten, wenn die

Probanden ihren Reisestrumpf erstmals ausziehen, beobachtet werden. Signifikant steigt das USF-Volumen jedoch erst in den zwanzig Minuten nach Vibration. Während der Vibrationsbelastung scheint ein Großteil der Probanden vom Tragen des Reisestrumpfes insofern zu profitieren, als dass sie weniger Volumenzunahmen erfahren.

Das Modell kann letztlich nicht alle Phänomene erklären. Zum Beispiel sind negative Volumenänderungen im Vibrationsintervall nicht erfasst. Interessant ist sicher auch der langfristige Verlauf der USF-Volumina, da bekanntlich unsere Versuche nach zwanzig Minuten Nachbetrachtungszeit endeten. Eine negative Volumenänderung im Anschluss an Versuch 3 würde sicher eine Überarbeitung des vorgestellten Modells notwendig machen.

Zugegebenermaßen wurde bei der Interpretation unserer Ergebnisse nur wenig Literatur verwendet was daran liegt, dass vergleichbare oder auch nur annähernd vergleichbare Untersuchungen bislang nicht vorliegen. Deshalb mussten wir uns, nicht zuletzt auch durch die Uneinheitlichkeit der Literatur, eine eigene Systematik zurechtlegen, um der Vielfalt der Ergebnisse gerecht zu werden.

5. Zusammenfassung

Es war das Ziel der vorliegenden Arbeit, die Wirksamkeit des Tragens von Kompressionsstrümpfen zur Prävention von Unterschenkelödemen anhand eines von uns entwickelten Untersuchungsmodells zu überprüfen. Das Untersuchungsmodell bestand in einer zehnminütigen Vibrationsbelastung bei 30 Hz, die im Sitzen ausgeführt wurde (Abb. 2, S. 8). In einer anschließenden 20-minütigen Beobachtungsphase führte dieser Test zu einer Zunahme des Unterschenkel-Fuß-Volumens, welche plethysmographisch überprüft wurde (Abb. 1, S. 6).

Acht Frauen und zehn Männer nahmen an jeweils zwei Versuchsreihen teil: Versuch 1 wurde ohne jegliches Strumpfttragen durchgeführt, in Versuch 3 begann das Strumpfttragen am Morgen des Vortages und somit mindestens 24 Stunden vor dem Versuch.

Vier bzw. fünf Personen absolvierten drei zusätzliche Testreihen mit anderem Ablauf. Das Tragen der Reisekniestrümpfe reduzierte während der Vibrationsbelastung das Beinvolumen im Median um -2,8 ml im Vergleich zur Situation ohne Strümpfe, wo eine mediane Zunahme um +8,3 ml zu verzeichnen war. Auch für die nachfolgende 20-minütige Beobachtungsphase ohne Strümpfe wurden die zuvor bestrümpften Unterschenkel signifikant besser vor Volumenzunahme geschützt – in der Darstellung machte sich dies durch eine verstärkte Volumenzunahme der zuvor komprimierten Gewebe bemerkbar (Abb. 5, S. 16, $p = 0,008$). Die Ergebnisse der Untersuchungen gestatten es, die Entwicklung von Unterschenkelödemen modellhaft darzustellen, wobei der positive Effekt des Tragens von Kompressionsstrümpfen ersichtlich wird (Abb.15, S. 43).

Nach den vorliegenden Untersuchungen können darüber hinaus mindestens zwei von einander abgrenzbare Verlaufstypen beschrieben werden: „Schnelle“ Gewebe sind durch eine rasche Volumenänderung (d.h. innerhalb von fünf Minuten nach Aus- bzw. Anziehen der Strümpfe) charakterisiert, während „Langsame“ einen zeitlich verzögerten Verlauf aufweisen. Geschlechtsunterschiede konnten nicht gefunden werden.

Das entwickelte Modell hat gezeigt, dass durch kurzzeitige Vibrationsbelastungen z.T. die Symptome des sog. „Economy-Class“-Syndroms (ECS) simuliert werden können, d.h. oberflächliche und tiefe Gewebeswellungen sowie Hauttemperaturerhöhungen. Unter dem Aspekt einer allgemeinen präventiv-medizinischen Beratung können

Personen, deren Unterschenkel kurz- und längeranhaltenden Vibrationsbelastungen ausgesetzt sind, vom Tragen entsprechender Reisekniestrümpfe profitieren. Dies kann wahrscheinlich auch auf die Reisesituation in Flugzeugen, Bussen oder Bahnen übertragen werden. Es wird empfohlen, die Kompressionsstrümpfe spätestens am Vortag anzulegen und erst zur (Nacht-)Ruhe nach Ankunft wieder auszuziehen.

6. Literatur

1. Virchow R. Gesammelte Abhandlungen zur wissenschaftlichen Medizin. Meidinger, Frankfurt/Main (1856)
2. Simpson K. Shelter deaths from pulmonary embolism. *Lancet* 1940; ii:744
3. Homans J. Thrombosis of the deep leg veins due to prolonged sitting. *N Eng J Med* 1954; 250: 148-149
4. Symington IS, Stack BHR. Pulmonary thromboembolism after travel. *Br J Dis Chest* 1977; 71: 138-140
5. Cruickshank JM, Gorlin R, Jennet B. Air travel and thrombotic episodes: the economy class syndrome. *Lancet* 1988; 2: 497-498
6. Schobersberger W, Hauer B, Sumann G, Gunga HC, Partsch H. Die Reisetrombose: Häufigkeit, Ursachen, Prävention. *Wien Klin Wochenschr* (2002), 114/1-2:14-20
7. Partsch H, Niessner H, Bergau L, et al. Reisetrombose 2001. *Phlebologie* 2001; 30: 101-103
8. Ferrari E, Chevallier T, Chapelier A, Baudouy M. Travel as a risk factor for venous thromboembolic disease. *Chest* 1999; 115: 440-444
9. Orta-Oedekoven K, Restorff W. Quantifizierung von Knöchelödemen bei Panzersoldaten. In: Pfister EA, Böckelmann I (Hrsg.) *Arbeitsphysiologie für Nachwuchswissenschaftler*, IAH, Magdeburg, pp 19
10. <http://www-ifam.med.uni-rostock.de/bkvo/m2103.htm und m2104.htm>, downloaded 06.01.2003
11. Skoglund CR. Vasodilatation in human skin induced by low- amplitude high-frequency vibration. *Clin Physiol* 1989, Aug; 9 (4): 361-372
12. Ryan TJ, Thoolen M, Yang YH. The effect of mechanical forces (vibration or external compression on the dermal water content of the upper dermis and epidermis, assessed by high frequency ultrasound. *L Tissue Viability* 2001, Jul; 11 (3): 97-101
13. Zimmermann A. Die neuere internationale Rechtsprechung zum Begriff „Unfall“ i. S. d. Art. 17 WA in Fällen einer Thrombose im Zusammenhang mit

der Luftbeförderung von Passagieren – ein Überblick. ReiseRecht aktuell
01/04

14. Nordstrom M, Lindblad B, Bergqvist D, Kjellström T. A prospective study of the incidence of deep-vein thrombosis within a defined urban population. *J Intern Med* 1992; 232: 155-160
15. Hansson PO, Welin L, Tibblin G, Eriksson H. Deep vein thrombosis and pulmonary embolism in the general population. *Arch Intern Med* 1997; 157: 1665-1670
16. Kraaijenhagen RA, Haverkamp D, Koopman MMW, et al. Travel and risk of venous thrombosis. *The Lancet* 2000; 356:1492-1493
17. Scurr J, Machin SJ, Bailey-King S, Mackie IJ, McDonald S, Coleridge Smith PD. Frequency and prevention of symptomless deep-vein thrombosis in long-haul flights: a randomised trial. *The Lancet* 2001; 357: 1485-1489
18. Lapostolle F, Surget V, Borron SW, et al. Severe pulmonary embolism associated with air travel. *N Eng J Med* 2001; 345: 779-783
19. von Restorff W, Kirsch K. Vorversuche zur Verhinderung von ECS- Ödemen mit Reisesstrümpfen (unveröffentlicht)
20. von Restorff W, Orta- Oedekoven K. Entwicklung eines Unterschenkel- Fuß- Plethysmographen (UFP) zur Quantifizierung von Ödemen. *Wehrmed. Mschr.* 47 (2003), 1/2003: 18-22
21. Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D. Oxygen Uptake during Whole-Body Vibration Exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement; *Eur J Appl Physiol* 2001; 86: 169-173
22. Cesarone MR, Belcaro G, Nicolaidis AN, et al. The LONFLIT 4- Concorde-Sigvaris Traveno Stockings in Long Flights (EcoTraS) Study: a randomized trial. *Angiology* 2003, Jan; 54 (1): 1-9
23. Nowak A, Kirsch KA. Experimentelle Versuchsreihe zum Economy-Class-Syndrom (unveröffentlicht)
24. Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume; *Clin Physiol* 2001 May; 21 (3):377-382

25. Aryal KR, Al-khaffaf H. Venous Thromboembolic Complications Following Air Travel: What's the Quantitativ Risk? A Literature Review; *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2006; 31: 187-199
26. Vin F, Allaert FA, Levardon M. Influence of estrogens and progesterone on the venous system of the lower limbs in women. *J Dermatol Surg Oncol*. 1992 Oct; 18 (10):888-892
27. Ely JW, Osheroff JA, Chambliss ML, Ebell MH. Approach to Leg Edema of Unclear Etiology. *J Am Board Fam Med* 2006; 19:148-160
28. Lee-Chiong TL Jr, Stitt JT. Heatstroke and other heat-related illnesses. The maladies of summer. *Postgrad Med*. 1995 Jul; 98(1):26-28,31-33,36
29. Kesteven P, Robinson B. Incidence of Symptomatic Thrombosis in a Stable Population of 650,000: Travel and Other Risk Factors. *Aviat Space Environ Med*. 2002 June; 73(6):593-596
30. Stewart JM, Karman C, Montgomery LD, McLeod KJ. Plantar vibration improves leg fluid flow in perimenopausal women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2005; 288: R623-R629
31. Schwarz T, Siegert G, Oettler W, et al. Venous thrombosis after long-haul flights. *Clin Appl Thromb Hemost*. 2003 Jul; 9(3):197-201
32. Rittweger J, Belavy D, Hunek P, et al. Highly Demanding Resistive Vibration Exercise Program is Tolerated During 56 Days of Strict Bed-Rest¹. *Int J Sports Med*. 2006 Jul; 27(7):553-559

Anlage 1: Kalibrierung des UFP

Messungen mithilfe von 20-ml-Pipetten bei einer Wassertemperatur von 33,5 °C und einem Ausgangswert von 48,8 Skalenteilen:

Pipettiervolumen in ml	Skalenteile	Differenz zum Vorwert
	48,8	
20	49,6	0,8
20	50,3	0,7
20	51,0	0,7
20	51,6	0,6
20	52,3	0,7
20	53,1	0,8
20	53,9	0,7
20	54,7	0,8
20	55,4	0,7
	Mittelwert	0,722

Bei einer Berechnung von $0,722 \times 100 / 20 = 3,61$, ergibt sich gerundet ein Umrechnungsfaktor von 3,6 zur Berechnung der Volumenänderungen.

8. Danksagungen

Mein besonderer Dank und meine Hochachtung gelten meinem viel zu früh verstorbenen Kollegen Dipl.-Sportl. Dr.med. Rainer Kowoll.

Die Zusammenarbeit mit ihm und seine Einsatzbereitschaft prägten mich entscheidend und eröffnete mir nicht zuletzt im Rahmen der vorliegenden Arbeit neue Sichtweisen, wofür ich ihm sehr dankbar bin. Er wird mir immer unvergessen bleiben.

Ich danke der Firma KUNERT, welche uns zur Durchführung der vorliegenden Untersuchung Reisekniestrümpfe zur Verfügung gestellt hat sowie die Aufwandsentschädigung der Probanden ermöglichte.