

**Aus der Universitäts-Hautklinik Tübingen  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. M. Röcken**

**„Einfluss der Kompressionstherapie bei Läufern mit  
nachgewiesener Klappeninsuffizienz der  
Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und  
Laktatspiegel“**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Johannes Christoph Kemmler  
aus  
Reutlingen**

**2006**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. M. Möhrle

2. Berichterstatter: Professor Dr. A. Niess

Meinen lieben Eltern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Epidemiologie, Historie und Bedeutung der venösen Erkrankungen	2
1.2	Anatomie des venösen Systems der unteren Extremität	5
1.3	Physiologie des venösen Systems	8
1.4	Pathophysiologie der venösen Erkrankungen	12
1.5	CEAP- Klassifikation der CVI	17
<b>2</b>	<b>Stand der Dinge</b>	<b>18</b>
2.1	Leistungsdiagnostik	18
2.1.1	Entwicklung der Leistungsdiagnostik	18
2.1.2	Belastungsschemata	21
2.2	Venen und Sport	22
2.2.1	Sporttherapie / Gefäßtraining	22
2.2.2	Kompressionstherapie	24
2.3	Fragestellung	27
2.3.1	Beeinflussung der Ausdauerleistung bei CVI durch eine Kompressionstherapie	27
2.3.2	Reduktion der Beschwerden durch Kompressionstherapie	28
2.3.3	Compliance	29
2.3.4	Eignung des MKS Venotrain champion® für eine Kompressionstherapie bei Läufern	29
<b>3</b>	<b>Material und Methodik</b>	<b>30</b>
3.1	Probandenkollektiv	30
3.1.1	Ein- und Ausschlusskriterien	30
3.1.2	Studienaufbau	31
3.1.3	Studienprotokoll (siehe auch Tabelle 3-1)	31
3.2	Untersuchungsmethoden	34
3.2.1	Continuous wave (CW)-Dopplersonographie (venös/arteriell)	34
3.2.2	Digitale Photoplethysmographie (DPPG)	37
3.2.3	Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS)	40
3.2.4	Perometer	42
3.2.5	Medizinischer Kompressionsstrumpf	42

3.2.6	Fragebogen	43
3.2.7	Untersuchungsbedingungen	44
3.2.8	Mehrstufentest	45
3.2.9	Hersteller	48
3.2.10	Statistik	52
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>54</b>
4.1	Probanden	54
4.2	Leistungsdiagnostik	58
4.2.1	Akuteffekte der Kompressionstherapie auf Herzfrequenz und Laktatspiegel	58
4.2.2	Langzeiteffekt der Kompressionstherapie auf Herzfrequenz und Laktatspiegel	60
4.3	Auswertung des Fragebogen	62
4.3.1	Veränderung der Beschwerden durch eine Kompressionstherapie über 4 Wochen	62
4.3.2	Zusammenfassung	70
4.3.3	Lebensqualität	72
4.4	Beurteilung des Kompressionsstrumpfes	74
4.5	Compliance	76
4.6	Zufriedenheit	77
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>78</b>
5.1	Leistungsdiagnostik	78
5.2	Beschwerden	84
5.3	Compliance	85
5.4	Medizinischer Kompressionstrumpf (MKS)	86
5.5	Schlussfolgerung aus der Arbeit	87
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>90</b>
7.1	Tübinger Fragebogen zur Erfassung der Lebensqualität	90
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung</b>	<b>109</b>
<b>10</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>111</b>

# 1 Einleitung

Venenerkrankungen sind in unserer Gesellschaft weitverbreitet und ein nicht zu unterschätzendes sozioökonomisches Problem. Die hohe Morbidität und die Beeinträchtigung der Patienten mit chronischen Venenerkrankungen stellt eine Herausforderung für das Gesundheitssystem dar. Ein wichtiger Teilaspekt der venösen Erkrankungen, die Beeinflussung von Venenerkrankungen durch Sport, ist bisher unzureichend untersucht und weist ein Forschungsdefizit auf (Deutsche Gesellschaft für Phlebologie, 2005). Bezüglich der Frage, welche Sportarten bei chronisch venösen Erkrankungen empfohlen werden sollten, wird in der bisherigen Literatur kein gemeinsamer Konsens gefunden. Eine Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der venösen Situation war bislang nicht Gegenstand der Forschung und soll in dieser Arbeit untersucht werden. Als historisches Beispiel für die Bedeutung der venösen Erkrankungen bei Sportlern kann hier auf die Berichte Blickensdörfers (Blickensdörfer, 1987) zur Tour de France verwiesen werden. 1949 kam es zu einem erbitterten Duell zwischen Gino Bartali und Fausto Coppi. Bartali erkannte beim Giro d'Italia bei Coppi eine Vene in der Kniekehle, die immer bei übermäßig großer Anstrengung stark hervortrat. Diese Entdeckung machte er sich zu Nutze, in dem er seinen Wasserträger Corrieri den Auftrag gab, sich an Coppi zu halten und auf ebendiese Vene zu achten. Bei Kilometer 200 der Tagesetappe war es dann soweit. Die Vene schwoll deutlich an und Corrieri gab Bartali das Signal „La vena! La vena!“. Dieser startete nun eine Attacke, bei der Coppi nicht mithalten konnte. Schließlich erreichte Coppi das Ziel mit einem Rückstand von 4 Minuten. Es kann nur spekuliert werden, ob diese anschwellende Vene in ursächlichem Zusammenhang mit Coppis Leistungseinbruch stand. Zur Überprüfung dieser Vermutung soll nun in dieser Arbeit der Frage einer Veränderung der Leistungsfähigkeit bei chronisch venöser Insuffizienz nachgegangen werden.

## **1.1 Epidemiologie, Historie und Bedeutung der venösen Erkrankungen**

Verschiedene Studien zeigen eine Prävalenz der chronisch venösen Erkrankungen von 50-80% in der deutschen Bevölkerung (Rabe, 2003). In der Tübinger Studie von 1979 wurde nur bei 14% der erwachsenen Bevölkerung kein pathologischer Venenbefund erhoben. Bei 58% der untersuchten Personen wurde eine geringgradige Pathologie der Venen festgestellt, während bei 15% eine deutliche Varikosis und bei 13% eine chronisch venöse Insuffizienz in späteren Stadien diagnostiziert wurde (Fischer, 1981). In aktuellen Studien, wie der Edinburger Studie von 1999, wurden bei 80% der Bevölkerung im Alter von 18-64 Jahren Zeichen einer venösen Insuffizienz in Form retikulärer Varizen oder venöser Teleangiektasien gefunden. Bei einem Drittel der untersuchten Population bestanden zusätzlich eine Varikosis oder spätere Stadien einer CVI (Evans et al., 1999). Im deutschen Raum wurde von der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie von 2000 bis 2002 eine Studie zur Epidemiologie der venösen Erkrankungen durchgeführt. Hier wurde eine Prävalenz venöser Veränderungen bei 18-79jährigen von über 90% gefunden, wobei der Schweregrad im Vergleich zu früheren Studien deutlich geringer war. Leichte Pathologien des venösen Systems waren bei 59% der untersuchten Population zu finden. Bei 14% wurden Krampfadern ohne begleitendes Ödem diagnostiziert, 13,4% entwickelten aufgrund der venösen Erkrankung ein prätibiales Ödem. Allein bei 3,3% der Untersuchten wurde ein fortgeschrittenes Stadium einer CVI diagnostiziert (Rabe et al., 2003).

Die Krankheitskosten, die im Zusammenhang mit chronischen Venenerkrankungen entstehen, beliefen sich 1990 laut Dinkel in den alten Bundesländern auf 2,0 Milliarden DM. Hierbei wurden sowohl die Kosten für die ambulante und stationäre Versorgung, Medikamente und Kuren als auch indirekte Ausgaben für Arbeitsunfähigkeit und Frühberentung berücksichtigt (Dinkel, 1997). Dies zeigt die Bedeutung der chronisch venösen Erkrankungen für das Gesundheitswesen und die Volkswirtschaft (Rabe, 2003).

Schon in sehr früher Zeit waren Venenleiden bekannt. Die älteste erhaltene Beschreibung einer Erkrankung des venösen Systems findet sich im Ebers Papyrus. Dieser wurde um 1550 vor Christus erstellt. Hier findet sich, neben anderen Krankheitsbildern, auch eine Beschreibung von geschlängelten Aussackungen an den unteren Extremitäten. Auf einer Votivtafel der Akropolis (ca. 400 v. Chr.) ist ein Unterschenkel mit erkennbaren Krampfadern abgebildet. Von Herophilus wird 280 v.Chr. erstmalig die unterschiedliche Struktur von Venen und Arterien beschrieben. Zusammen mit Erasistrates, der ebenfalls aus der Schule von Alexandria stammt, erwähnt er auch die Möglichkeit, Gefäße durch Ligaturen zu unterbinden (Grotewohl, 2002). Römische Ärzte führten schon um 200 v. Chr. chirurgische Resektionen an den Extremitäten durch (Pocard, 1997).

Allerdings fehlte zum grundlegenden Verständnis der venösen Erkrankungen die Kenntnis der Physiologie des Blutkreislaufes. Im arabischen Kulturkreis beschrieb Ibn al Nafis um 1210 n.Chr. den Fluss des Blutes aus den Arterien in die Venen. Im 15. Jahrhundert wurden die anatomischen Darstellungen des venösen Systems, beispielsweise durch Leonardo da Vinci, genauer und die Physiologie desselben besser verstanden. Ein Fortschritt in der Behandlung der venösen Erkrankungen gelang 1525 Ambroise Pare, einem französischen Chirurgen, der zur Behandlung von Geschwüren der Beine eine Bandagierung vorschlug. Nach der Entdeckung der Venenklappen durch Aquapendente 1585, erkannte William Harvey 1628 das grundlegende Prinzip des Blutkreislaufs im Körper. Die Behandlung durch Kompression wurde währenddessen weiter verbessert. 1676 führte Wisemann Stützstrümpfe aus Leder ein und 1854 entwickelte Unna in Wien einen unterstützenden Schuh. Später verlagerte sich der Schwerpunkt der Behandlung von Krampfadern auf neuartige chirurgische Interventionen und die Sklerosierung, die Pravaz 1860 vorstellte. Brodie sprach sich zur gleichen Zeit für eine hauptsächlich chirurgische Versorgung der Varikosis aus. Trendelenburg führte Ende des 19. Jahrhunderts die ersten Ligaturen der großen Hautstammvenen durch. Verschiedene andere Operationsverfahren wurden entwickelt. Da diese Verfahren recht aufwendig und umfangreich in der Durchführung waren, beinhalteten sie auch dementsprechende Risiken. Mit dem Ende des zweiten Weltkrieges begann ein

neue Epoche der Behandlung der venösen Erkrankungen (Grotewohl, 2002). Neue Erkenntnisse bezüglich Pathophysiologie, Therapie und der diagnostischen Möglichkeiten brachten deutliche Fortschritte und Veränderungen in Behandlung und Prognose der chronisch venösen Erkrankungen. Damals wurde auch die sozioökonomische Bedeutung venöser Erkrankungen erkannt (Jünger et al., 2004).

## **1.2 Anatomie des venösen Systems der unteren Extremität**

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen einem oberflächlichen, supra- oder intrafaszialen und einem tiefen, subfaszialen Venensystem. Diese beiden Systeme kommunizieren miteinander über transfasziale Verbindungsvenen, sogenannte Vv. perforantes (Rabe, 2003).

Das tiefe Venensystem ist für die Drainage von 90% des venösen Blutvolumens nach kardial verantwortlich (Rabe et al., 2000). Meist liegen die Venen paarig oder unpaarig in unmittelbarer Nähe der Arterien und sind analog zu diesen benannt. Im Bereich des Unterschenkels kann man 3 Venenpaare unterscheiden: die Vv. tibiales anteriores, Vv. tibiales posteriores und die Vv. peroneae. Im Bereich der Kniekehle ist der Zusammenfluss dieser Venen zur V. poplitea zu lokalisieren. Zusätzlich münden hier noch die Vv. gastrocnemiae aus der Unterschenkelmuskulatur ein. Im weiteren Verlauf am Oberschenkel wird die V. poplitea dann ab dem Austritt aus dem Hiatus adductorius als V. femoralis superficialis bezeichnet. Im Bereich des proximalen Oberschenkels kommt als Zufluss die V. femoralis profunda hinzu, mit der sie sich zur V. femoralis vereinigt. Ab dem Ligamentum inguinale wird die V. femoralis zur V. iliaca externa. Nach der Vereinigung im Beckenbereich mit der V. iliaca interna wird daraus die V. iliaca communis. Diese mündet weiter proximal gemeinsam mit der kontralateralen V. iliaca communis in die V. cava inferior, welche wiederum zum rechten Vorhof führt.

Das System der superfiziellen Venen besteht aus den 2 großen Hautstammvenen, der V. saphena magna und V. saphena parva, und diversen Seitenästen, Vv. perforantes und communicantes sowie weiteren kleinkalibrigen, netzartig angeordneten Venen. Im Gegensatz zu der recht regelmäßigen Anordnung im tiefen Venensystem ist bei den oberflächlichen Venen eine große Variationsbreite bezüglich Anordnung und Zahl der Venen zu finden. Die V. saphena magna beginnt im Bereich des medialen Malleolus und verläuft stets an der Medialseite von Unter- und Oberschenkel des Beines. Sie mündet mit ihrem nach proximal gekrümmten Teil, der Krosse, in die V. femoralis im Bereich des Hiatus saphenus unterhalb des Ligamentum inguinale. Wichtige Seitenäste der V. saphena magna sind die Vv. arcuatae cruris am Unterschenkel. Im Bereich des Hiatus saphenus kommen andere Venen hinzu,

die aufgrund ihrer zirkulären Anordnung als Venenstern bezeichnet werden. Im einzelnen sind dies die V. epigastrica superficialis, V. pudenda externa, Vv. circumflexae femoris superficiales, Vv. saphenae accessoriae und die V. circumflexa ilium superficialis (Rabe, 2003). Die V. saphena parva verläuft vom Malleolus lateralis kommend am Unterschenkel in dorsale Richtung, um dann im Kniekehlenbereich in die V. poplitea einzumünden. Die Höhe des Zusammenflusses variiert dabei, findet sich aber meist wenige Zentimeter oberhalb des Kniegelenkspaltes. Von proximal in die V. saphena parva kommend ist meist auch eine V. femoropoplitea anzutreffen. In dem Fall einer Verbindung dieser Vene mit der V. saphena magna wird von ihr auch als Giacomi-Anastomose gesprochen (Rabe et al. 2000). Zum Verlauf der übrigen Seitenäste siehe Abbildung 1-1.

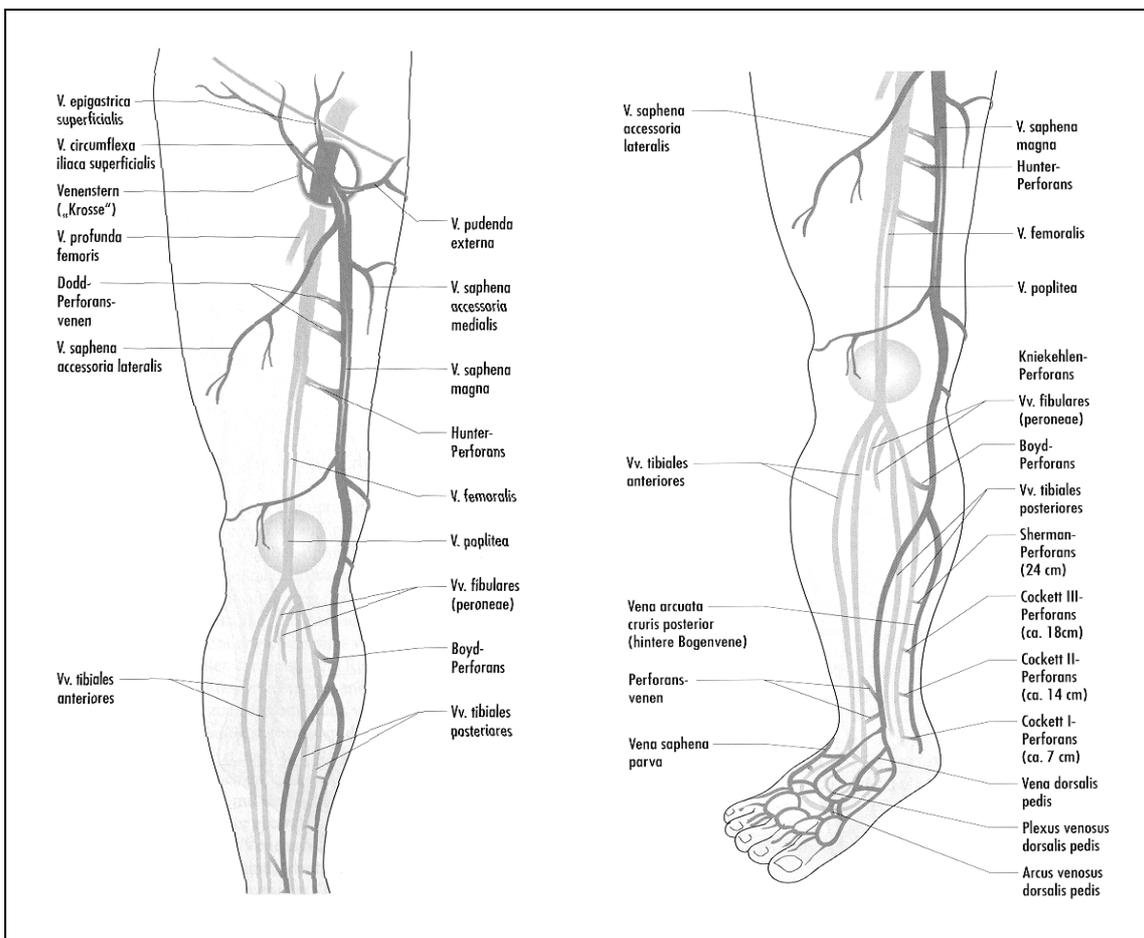


Abbildung 1-1 Verlauf der V. saphena magna (nach Grotewohl, 2002)

Im Bereich des Fußes ist keine klare Trennung des profunden und superfiziellen Systems vorgenommen, stattdessen ist eine enge Kommunikation über ein venöses Venenpolster vorhanden. An jedem Bein finden sich ungefähr 150 Verbindungsvenen, welche die verschiedenen Venensystem verbinden und den Blutstrom in die Tiefe leiten (Jünger et al., 2004). Klinisch relevante Vv. perforantes im Gebiet der V. saphena magna sind am Oberschenkel vor allem die Dodd'schen Venen oberhalb des Knies, die V. profunda perforans am lateralen Oberschenkel und die Hunter Perforansvene. Am Unterschenkel unterhalb des Knies liegt die Boyd'sche Perforansvene. Die 24-cm Perforansvene (Sherman) und die Cockett'schen Perforantesvenen sind an die hintere Bogenvene angeschlossen (Abbildung 1-1).

Im Einzugsbereich der V. saphena parva zieht die May'sche Perforansvene in Wadenmitte, eine Kniekehlen-perforans sowie eine V. perforansvene am lateralen Unterschenkel in die Tiefe (Abbildung 1-2). Die Vv. perforantes liegen in einer eigenen Faszienlücke und werden von einer kleinen Arterie, Nerven und häufig von Lymphgefäßen begleitet. Eine Differenzierung in direkte und indirekte, über Muskelvenen kommunizierenden, Perforanten kann vorgenommen werden (Rabe et al., 2000).

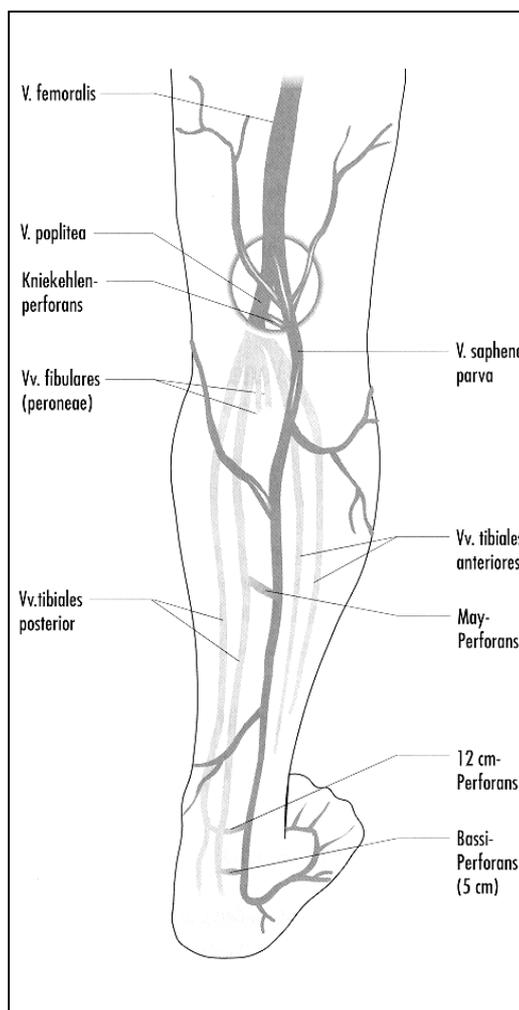


Abbildung 1-2 Verlauf der V. saphena parva (nach Grotewohl, 2002)

Histologisch lässt sich eine Differenzierung der Venen in 3 Schichten vornehmen. Die Intima wird von Endothel, Basalmembran und Bindegewebe gebildet. Aus der Intima entspringen die Venenklappen, die als mit kollagenen Fasern verstärkte Endothelfalten zu verstehen sind. Die Venenklappen liegen in subkutanen Venen 5-7 cm und in tiefen Venen des Beines 2-3 cm voneinander entfernt, bei einer zunehmenden Klappenhäufigkeit nach distal (Rabe, 2003). Die Media enthält hauptsächlich elastische Fasern und vegetativ innervierte glatte Muskelzellen, welche überwiegend quer ausgerichtet sind. Ihre Funktion besteht vor allem in einer Kaliberveränderung in Abhängigkeit ihrer Aktivierung über das autonome Nervensystem. Die Adventitia besteht aus lockerem Bindegewebe, kollagenen und elastischen Fasern und netzartig anastomosierenden Muskelfaserbündeln, die hauptsächlich in Längsrichtung angeordnet sind. Neben der Verankerung der Vene in der Subkutis über bindegewebige Septen wird mithilfe der Muskelfaserbündel einer Aussackung der Vene aufgrund des intravasalen Drucks entgegengewirkt. In größeren Gefäßen findet sich eine stärker ausgebildete Längsmuskulatur der Adventitia, während in mittleren bis kleinen Venen eine zirkulär angeordnete Muskulatur der Media vorherrscht (Bucher et al., 1997).

### **1.3 Physiologie des venösen Systems**

Wesentliche Funktionen der Venen sind der Transport des Blutes nach kardial, die Druck- und Volumenregulation sowie die Erhaltung der Temperaturhomöostase (Rabe et al., 2000). Venen sind in das Niederdrucksystem des Körperkreislaufes einzuordnen. Es finden sich venöse Drücke im Liegen von 12-15 mmHg in kleinen Venen bis zu 10-12 mmHg in den großen extrathorakalen Venen. Zu beachten ist die Druckerhöhung in den Venen der unteren Extremität beim stehenden Erwachsenen auf bis zu 80-100 mmHg aufgrund der hydrostatischen Belastung (Busse, 2000). Mit der Druckänderung bei Lagewechsel kommt es auch zu einer Verschiebung des Blutvolumens. So befinden sich in Orthostase zusätzlich 400-500 ml Blut in den unteren Extremitäten. Das Niederdrucksystem, welches aus Körperven, rechtem Herzen, Lungengefäßen, linkem Vorhof und linkem Ventrikel in der

Diastole besteht, enthält 85% des Gesamtblutvolumens. Aufgrund der hohen elastischen Dehnbarkeit der Venen, die bis zu 200fach größer als bei Arterien sein kann, lässt sich ein großes Blutvolumen speichern (Busse, 2000).

Um die Funktionsfähigkeit dieses komplexen Systems zu gewährleisten, sind verschiedene Transport- und Regulationsmechanismen notwendig. Besondere Bedeutung hat der orthograde Blutfluss nach kardial. 90% des venösen Blutes werden über das tiefe Venensystem abtransportiert. Aus den superfiziellen Anteilen wird Blut hauptsächlich über die Vv. perforantes in die subfascialen Venen drainiert (Rabe 2003, Busse, 2000). Um eine retrograde Strömung des Blutes zu verhindern, sind in regelmäßigen Abständen Venenklappen angebracht, die bei einem retrograd gerichteten Druckgradient den Blutfluss unterbinden. Ein weiterer Effekt der Venenklappen ist eine Erniedrigung des hydrostatischen Druckes auf die Venenwand über die Unterteilung der Blutsäule in mehrere kleinere Abschnitte (Busse, 2000). Im höheren Alter nimmt die Zahl der Klappen ab (Rabe, 2003).

Um das Blut orthograd zu transportieren, gibt es verschiedene Mechanismen, die zusammenwirken. Die abdominothorakale Pumpe ist dabei beim liegenden Menschen von besonderer Bedeutung (Rabe et al., 2000). Ihre Wirkung entfaltet sich durch Druckänderungen im abdominalen und thorakalen Bereich bei den atemabhängigen Pendelbewegungen des Zwerchfells. Diese Druckänderung wirken sich wiederum auf den transmuralen Venendruck und auf den venösen Blutfluß aus. Bei Inspiration wird der intrathorakale Druck niedriger. Dies bewirkt umgekehrt eine Erhöhung des transmuralen Druckes der Venen im Brustkorb. Aufgrund dieses erhöhten Druckgradienten intravenös kommt es zu einer Verstärkung des Blutstroms von V. cava superior und inferior zum rechten Vorhof. Gleichzeitig erhöht sich der intraabdominelle Druck, was auch zu einer intravasalen Druckerhöhung in den intraabdominellen Venen führt. Der Schluss der Venenklappen der Beinvenen hat physiologischerweise einen orthograden Blutfluss nach kardial zur Folge. Expiratorisch erfolgt eine Umkehr der Druckverhältnisse. Die Zwerchfellhebung führt zu einem ansteigenden Druck im Thorax und erniedrigten Druck im Abdomen. Dadurch kann Blut aus distal gelegenen Abschnitten der unteren Extremität nach abdominal strömen (Rabe et al., 2000).

Auch die Muskelpumpe, die bei allen größeren intramuskulären oder tiefer gelegenen Venen vorhanden ist, sorgt für einen orthograden Blutstrom (Rabe, 2003). Hierbei wird die ruhende Blutsäule durch die Kontraktion der umgebenden Muskulatur beschleunigt und das intravenöse Blut nach kardial abtransportiert. Eine besondere Rolle spielt diese Muskelpumpe im tiefen Venensystem. Dort wird der muskulär aufgebaute Druck in geringerem Maße nach außen abgegeben, da sowohl Venen als auch Muskeln intrafaszial liegen. Deshalb werden auch weiter entfernt liegende Venenabschnitte komprimiert und der Bluttransport effektiver. Bei muskulärer Anspannung steigt der intravenöse Druck in den tiefen Venen über den Druck in den superfiziellen Venen an. Aufgrund der Anordnung der Venenklappen in den verbindenden Venen, den Vv. perforantes oder communicantes, wird ein druckausgleichender Blutfluß nach extrafaszial verhindert. Die proximal gelegenen Klappen öffnen sich und das Blut fließt orthograd nach kardial. In Phasen muskulärer Entspannung fällt der Druck in den tiefen Venen des betroffenen Abschnittes, so dass sich der Druckgradient umkehrt. Nun schließen sich die proximal gelegenen Klappen, während sich die Klappen der kommunizierenden Venen öffnen und das Blut aus den superfiziellen Venen in die Tiefe strömt. Durch den Unterdruck der profunden Venen entsteht dabei eine Sogwirkung, die den Blutfluss beschleunigt (Rabe et al, 2003, Busse 2000). Eine Einteilung der Muskelpumpen anhand der anatomischen Gegebenheiten lässt eine Differenzierung der Gruppen in Wadenmuskelpumpe, Oberschenkelmuskelpumpe und Fußsohlenpumpe zu. Von diesen Gruppen erreicht die Wadenmuskelpumpe den höchsten Effektivitätsgrad (Rabe et al., 2000). Die Funktion der Muskelpumpe sollte nicht isoliert betrachtet werden, sondern der Zusammenhang mit einer physiologischen Gelenkbewegung gesehen werden. Allein durch passive Bewegung im Sprunggelenk wird schon der venöse Abfluss beschleunigt. Eine Erklärung findet sich in der Fixierung der Venen im Bindegewebe. Je nach Bewegung des umliegenden Gewebes wird die Vene komprimiert oder entspannt, da über die Verankerung der Adventitia diese Kräfte auf die Vene übertragen werden. Diese Kompression oder Dekompression führt zu einer abhängigen Veränderung des venösen Volumens. Bei Flexion wird die Vene entspannt und Blut von peripher

angesogen. Eine Extension hingegen führt zu Zugkräften auf die Vene, der Venendiameter verringert sich, dadurch wird der orthograde Fluss des Blutes beschleunigt und das venöse Blutvolumen verringert. Beim Gehen werden Muskel- und Gelenkpumpen gleichzeitig aktiviert und die untere Extremität wird effektiv drainiert. Bei suffizienten Venenklappen reduziert sich der venöse Druck von 80-100 mmHg im Stehen auf 30-40 mmHg im Gehen (Rabe et al, 2003, Busse 2000). Die Bedeutung der Sprunggelenkpumpe wird ersichtlich anhand eines Vergleiches von gemessenen Drücken an der unteren Extremität von venengesunden Patienten, die nur eine einseitig eingeschränkte Beweglichkeit im Sprunggelenk aufwiesen. Hier zeigte sich eine Verminderung des venösen Druckabfalls bei körperlicher Aktivität um 21,5% auf der weniger beweglichen Seite (Kügler, 1999). Zusätzlich zur Muskel- und Gelenkpumpe trägt auch der nach kardial gerichtete Druckgradient in den Venen zum Blutfluss bei. Dieser wird durch das Herzzeitvolumen und die Verschiebung der Ventilebene des Herzens erzeugt. Auch das intradermale Blutvolumen und dessen Veränderung durch Ziehen, Strecken und Kompression ist zu beachten. Das Volumen im venösen System ist ebenso von der Höhe des arteriellen Zustroms abhängig (Rabe, 2003). Dieser arterielle Zustrom wird durch muskuläre Aktivität, vegetative Regulation, lokale Stoffwechselgeschehen und äußere Einflüssen reguliert. Im Kapillarbett, zwischen arteriellem und venösen System, findet die Mikrozirkulation statt. Hier erfolgt die kapilläre Filtration und Reabsorption von Blutbestandteilen, die physiologisch in einem Gleichgewicht zueinander stehen. Die Mikrozirkulation wird in Ruhe auf einer Fläche von 300 m<sup>2</sup> durchgeführt. Dabei kommt es zu einer geringen Volumenverschiebung nach interstitiell. Dieses Volumen wird dann über das Lymphsystem abtransportiert .

Der effektive Filtrationsdruck im Kapillarsystem kann mithilfe der Starling Gleichung berechnet werden:

$$P_{\text{eff}} = K_f [(P_k - P_g) - (P_p - P_{\text{og}})]$$

$P_{\text{eff}}$  = effektiver Filtrationsdruck;

$K_f$  = Kapillarpermeabilitätsfaktor

$P_k$  = hydrostatischer Druck intravasal

$P_g$  = mechanischer Druck des Gewebes

$P_p$  = kolloidosmotischer Druck des Blutes

$P_{\text{og}}$  = onkotischer Druck des Gewebes

Werden nun Parameter in dieser Gleichung verändert, so erfolgt daraus eine Veränderung des effektiven Filtrationsdrucks und auch des Blutvolumens, das sich am Ende des venösen Schenkel im Kapillarsystem findet. Volumenverschiebungen können bis zu einem gewissen Grad durch das Lymphsystem ausgeglichen werden, solange dessen Transportkapazität dabei nicht überschritten wird (Rabe, 2003).

## **1.4 Pathophysiologie der venösen Erkrankungen**

Die venösen Erkrankungen lassen sich in akute und chronische Formen unterteilen. Zu den akuten Erkrankungen zählen unter anderem die Thrombophlebitis superficialis und die tiefe Beinvenenthrombose. Bei diesen Erkrankungen sind Komplikationen wie Lungenembolie und postthrombotisches Syndrom möglich. Ein Übergang von akuter zu chronischer Erkrankung findet beispielweise beim postthrombotischen Syndrom statt, in dessen Verlauf sich eine chronisch venöse Insuffizienz entwickelt.

In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Gruppe der chronisch venösen Erkrankungen, im Besonderen auf der chronisch venösen Insuffizienz (CVI), gelegt. Die CVI ist über eine Dekompensation des venösen Systems definiert und findet sich überwiegend an der unteren Extremität. Eine Einteilung in Schweregrade wird anhand einheitlicher Klassifikationen vorgenommen, um eine Vergleichbarkeit von Patienten und Therapiestrategien zu ermöglichen.

Pathophysiologisch zeigt sich bei einer beginnenden CVI ein Zusammenwirken von verschiedenen ätiologischen Faktoren, welche in eine Störung der Hämodynamik münden. Aufgrund dieser Störung kommt es zu den morphologischen Veränderungen der unteren Extremität. Diese reichen von Venektasien und Varikosis bis zu schwerwiegenden Hautveränderungen wie Atrophie blanche, Indurationen und Ulcus cruris.

Es wird angenommen, dass bei der CVI primär eine Störung der Makrozirkulation vorliegt, die dann zu einer Mikrozirkulationsstörung führt (Grotewohl, 2002; Jünger et al., 2000). Eine primäre oder idiopathische CVI, bei der ein Gefäßwanddefekt oder eine Gefäßdilataion ursächlich sind, liegt in 80% der Fälle vor. In 20% ist eine postthrombotische sekundäre CVI zu finden, bei der ein entzündliches Geschehen im Rahmen einer Varikophlebitis oder Phlebothrombose zu einer Schädigung der Venen geführt hat. In beiden Fällen kommt es schließlich zu einer Insuffizienz der Venenklappen (Rabe 2003, Grotewohl, 2002). Nun wird eine retrograde venöse Blutströmung zugelassen und die Druckentlastung durch die Aufteilung der hydrostatischen Blutsäule in mehrere Einzelfragmente entfällt. Daraus resultiert eine Drucksteigerung im venösen System, die zu einer weiteren Verschlechterung der venösen Situation führt. Die venöse Hypertension bei Venenklappeninsuffizienz wird als ein entscheidender Faktor in der Pathogenese der CVI verstanden (Rabe 2003, Grotewohl, 2002). Aber auch andere Einflüsse tragen zur Entstehung einer CVI bei. Ein Ausfall oder eine Einschränkung der Muskel-Gelenk-Pumpe kann eine Verstärkung der venösen Dysfunktion nach sich ziehen (Rabe 2003, Grotewohl, 2002). Grotewohl sieht die CVI als Folge einer Varikosis und/oder eines postthrombotischen Syndroms. Rabe hingegen verwendet die Begriffe CVI und Varikosis als Synonyme, ohne sie in der zeitlichen Abfolge abzugrenzen. Für eine genetische Disposition zur CVI gibt es einige Hinweise. Niermann nahm 1978 an, dass ein polygenetischer und multifaktorieller Erbgang für eine CVI charakteristisch sei (Rabe, 2003). Taheri et al. entwickelten die Hypothese, eine mitochondriale Myopathie verursacht durch eine Deletion von 100-200 Basenpaare in der mitochondrialen DNA sei für die CVI ursächlich (85). Grotewohl nahm an 70% der primären Varikosis seien genetisch bedingt (Grotewohl, 2002). Herouy und Vanscheidt erwähnen als mögliche Ursache der

Varikosis ein angeborenes Fehlen von Venenklappen oder eine familiär bedingte Klappeninsuffizienz. Ausschlaggebend für die Ausbildung der Insuffizienz ist eine Volumenüberlastung des venösen Systems, die zu einer Aussackung des Klappensystems führt (Rabe, 2003). Entzündliche Veränderungen der Venenwand können ebenfalls zu einer Klappenschädigung führen (Rabe, 2003). Als weitere Pathogenitätsfaktoren werden eine Gefäßwand- und Bindegewebsschwäche, Schwäche der glatten Gefäßmuskulatur und eine endotheliale Dysfunktion genannt (Thulesius, 1996). Auch Veränderungen der Venenwand durch gestörte Sekretionsvorgänge, Veränderungen von zellulären und hämatologischen Vorgängen beispielsweise auf dem Gebiet der Leukozytenfunktion, der Gerinnung und der rheologischen Parameter werden bei CVI beobachtet (Rabe, 2003).

Letztlich ausschlaggebend in der Pathophysiologie der CVI ist die Unfähigkeit, den Venendruck über die Aktivierung der Pumpmechanismen zu reduzieren. Dies wird auch als venöse ambulatorische Hypertonie bezeichnet (Rabe, 2003; Gallenkemper et al., 2000). In späteren Stadien der CVI kann es unter Belastung zu einer Claudicatio venosa kommen (Rabe, 2003).

Im Modell kann die Entstehung einer CVI als absteigender Prozess verstanden werden. Bei Insuffizienz eines lokalen Abschnittes kommt es auch zu einer verstärkten Druck- und Volumenbelastung des weiter distal gelegenen Venenabschnitts, der dadurch ebenfalls insuffizient werden kann. Diese Insuffizienz äußert sich in einer Dilatation der Venenwand, welche als Varikosis in Erscheinung tritt. Risikofaktoren für die Entwicklung einer primären Varikosis sind Alter, weibliches Geschlecht, Schwangerschaft, familiäre Disposition und ungünstige berufliche Belastungen wie vorwiegend stehende oder sitzende Tätigkeiten (Rabe, 2003).

Je nach Lokalisation der Varikosis werden Stamm-, Seitenast- Perforans- und Retikulärvarikosis unterschieden (Grotewohl 2002). Dabei ist die Insuffizienz am häufigsten im Bereich der Hautstammvenen und Perforansvenen zu finden (Recek, 2004). Zu beachten ist, dass aufgrund der Kommunikation zwischen profunden und superfiziellen Venen im Bereich einer insuffizienten Krosse oder Perforansvene die Hämodynamik in beiden Systemen beeinflusst wird. Dies kann bis zu einer Strömungsumkehr in den tiefen Venen führen (Rabe, 2003).

Insuffiziente Perforansvenen imponieren unter Belastung als Vorwölbungen unter der Haut. Dieses Phänomen wird auch als „Blow-Out“ bezeichnet (Rabe, 2003). Eine Seitenastvaricose ist häufig assoziiert mit einer Varicose der V. saphena magna und kommt eher selten isoliert vor. Retikuläre Varikosis ist bezüglich der Auswirkung auf die Hämodynamik nur von untergeordneter Relevanz (Rabe, 2003). Nach Recek ist weniger die Lokalisation des retrograden Flusses als vielmehr das Refluxvolumen ausschlaggebend für die Hämodynamik und damit die Schwere der CVI (Recek, 2004).

Einer sekundären CVI liegen Veränderungen des tiefen Venensystems zugrunde, die aufgrund eines akuten oder stattgehabten thrombotischen Prozesses entstanden sind. Auch diese Veränderungen können Einfluss auf die Hämodynamik des suprafascialen Venensystems haben. Distal des Verschlusses der tiefen Beinvenen entsteht eine venöse Hypertension. Auch nach Rekanalisation des Thrombus, die in bis zu 80% der Fälle gefunden wird, wird selten eine restitutio ad integrum erreicht (Rabe, 2003). Eine Insuffizienz der Venenklappen durch morphologische Veränderungen führt zum Reflux. Aufgrund der resultierenden Volumenüberlastung kommt es zu einer stärkeren Belastung der Klappen der Vv. perforantes. Diese kann wiederum in eine Insuffizienz der Venenklappen münden. Durch die Rezirkulation des venösen Blutes in diesen Abschnitten wird ein sogenannter „Privatkreislauf“ geschaffen, der zu einer sekundären Varikosis der superfiziellen Venen führen kann (Delis et al., 1998).

Auch im Bereich der Mikrozirkulation finden sich bei der CVI Veränderungen. So sind typische Hautveränderungen und Ulcerationen durch die Störung im Kapillarsystem mitbedingt (Jünger et al., 2000). Die venöse Hypertension der großen Gefäße wird auch nach kapillär übertragen. Dies kann zur Dekompensation des Filtrations-Resorptions-Systems führen, die als Ödem in Erscheinung treten kann, falls die Transportkapazität des lymphatischen Systems überschritten wird (Rabe et al., 2000). Die morphologischen Veränderungen des Kapillarsystems können sich als Elongationen und glomeruliartige Strukturen der Kapillaren präsentieren. Eine erhöhte Thromboseneigung in diesem System führt zu einer Minderung der Kapillardichte. Schreitet dieser Prozess fort, so resultieren daraus avaskuläre

Bezirke, die man klinisch auch als Atrophie blanche bezeichnet (Rabe, 2003). Eine Hyperämisierung der Kapillaren führt zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Gefäßwand für Proteine, Erythrozyten und Fibrinogen mit interstitieller Ablagerung (Rabe et al., 2000). Der onkotische Druck des extrakapillären Raumes wird dadurch erhöht, was eine Verschiebung der Starling Gleichung und einen erhöhten effektiven Filtrationsdruck bedingt (84). Die interstitiellen Erythrozyten werden von Makrophagen phagozytiert und abgebaut. Das dabei entstehende Hämosiderin bleibt zurück und tritt als Hyperpigmentierung in Erscheinung (Rabe, 2003). Die Fibrinolyse vermindert sich, was die Bildung von perikapillären Fibrinabscheidungen zur Folge hat, die die Diffusionszeit von Metaboliten und Sauerstoff verlängern (Rabe, 2003). Eine verstärkte Thromboseneigung kann zum Teil durch eine Erhöhung der Fibrinogenkonzentration erklärt werden (Boisseau et al., 1995). Da das interstitiell abgelagerte Fibrinogen einen Proliferationsreiz für Fibroblasten darstellt, kommt es zur Kollageneinlagerung und Fibrosierung von Korium und Subkutis. Die Stoffwechselfversorgung wird dabei weiter verschlechtert (Rabe, 2003). Diese Veränderungen auf makroskopischer und mikroskopischer Ebene können in späteren Stadium in ein venöses Ulcus cruris münden.

## 1.5 CEAP- Klassifikation der CVI

Für eine Einteilung und Klassifizierung der chronisch venösen Insuffizienz wurden verschiedene Modelle vorgeschlagen. In den Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der CVI wird die CEAP-Klassifikation zur Differenzierung der verschiedenen Stadien empfohlen (Gallenkemper et al., 2000). Der Vorteil besteht in einer klaren Gliederung und Vergleichbarkeit verschiedener Stadien durch die Unterscheidung hinsichtlich Klinik (C), Ätiologie (E), Anatomie (A) und Pathophysiologie (P). Die Kriterien zur Einteilung sind in untenstehender Tabelle erläutert.

<b>C Clinical Signs (Grad 0 – 6)</b>			
0	Kein sicht- oder tastbarer Anhalt für Venenkrankheiten		
1	Teleangiektasien oder retikuläre Varizen		
2	Varizen		
3	Ödem		
4	Hautveränderungen (Pigmentierung, Atrophie blanche, Stauungsekzem, Dermatoliposklerose)		
5	Hautveränderungen mit Ulkusnarbe		
6	Hautveränderungen mit Ulkus cruris		
<b>E Etiological Classification</b>		<b>A Anatomic Distribution</b>	
c	congenital	s	oberflächlich
p	primär	d	tief
s	Sekundär	p	Perforans, evtl. mit s oder d
<b>P Pathophysiological Dysfunction</b>			
r	Reflux		
o	Obstruktion		
or	Obstruktion oder Reflux		

Tabelle 1-1 CEAP-Klassifikation

## 2 Stand der Dinge

### 2.1 Leistungsdiagnostik

Die körperliche Leistungsfähigkeit ist definiert als die Summe der motorischen Aktivitäten, die willentlich unter bestimmten Bedingungen zu erbringen sind (de Mareés, 2002). Leistungsdiagnostik ist die Untersuchung und Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mithilfe verschiedener Kennwerte und Parameter.

#### 2.1.1 Entwicklung der Leistungsdiagnostik

Um Informationen über die körperliche Leistungsfähigkeit zu gewinnen, werden Parameter gemessen, die aussagekräftig für die an der sportlichen Leistung beteiligten Systeme sind. Dies sind hauptsächlich respiratorische, kardiale oder metabolische Werte.

Bis zu Beginn der 1960er Jahre wurde der Schwerpunkt auf die Messung respiratorischer Parameter, wie der maximalen Sauerstoffaufnahme, in der Leistungsdiagnostik gelegt (Heck, 1990). Schon 1923 prägten *Hill et al.* die Begriffe der maximalen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffdefizits bei extremer Arbeit. Ebenso wurde ein Zusammenhang von Laktatkonzentration und Sauerstoffmetabolismus vor und während Belastung von dieser Arbeitsgruppe beobachtet (Hill, 1923). Mit der Entwicklung der Spiroergometrie durch *Brauer und Knipping* (1929) wurde eine exakte und reproduzierbare Bestimmung der kardiopulmonalen Ausdauerleistungsfähigkeit über die Messung respiratorischer Parameter möglich (Mader et al., 1976). Durch *Hollmann* wurde der Punkt des optimalen Wirkungsgrads der Atmung (PoW) als „Sauerstoff-Dauerleistungsgrenze“ eingeführt (Hollmann, 1985). Dieser ist definiert als die Belastung, bei der die pulmonale Ventilation in stärkerem Maße ansteigt, als die Sauerstoffaufnahme eigentlich erwarten lässt. Hollmann stellte außerdem eine Änderung der Blutlaktatkonzentration am PoW fest. Ähnlich der Definition des PoW entwickelte später *Wassermann* das Konzept der klassischen anaeroben Schwelle (anaerobic threshold = AT) (Wassermann et al., 1973). Er schloss aus einer Abweichung von der Linearität des Atemminutenvolumens, der Kohlendioxidproduktion und des respiratorischen

Quotienten bei einer gewissen Belastungsintensität auf einen gesteigerten anaeroben Metabolismus.

Nachdem diese ersten Verfahren der Leistungsdiagnostik die Leistungsfähigkeit über respiratorische Werte definierten, kam es nun zu einem Wandel. Es zeigte sich, dass auch die Messung der Blutlaktatkonzentration als maßgebliches Kriterium für die Leistungsdiagnostik herangezogen werden konnte. Ausschlaggebend für diese neue Definitionen war die Erkenntnis, dass sich die Veränderung des Stoffwechsels bei Training nur sehr ungenau über die individuelle maximale Sauerstoffaufnahme abbilden ließ. Außerdem zeigte sich bei der Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme das Problem einer starken Abhängigkeit von Untersuchungsbedingungen und Proband und damit einer geringeren Objektivität.

Mit der Einführung einer Laktatschwelle, der „aerob-anaeroben Schwelle“ durch *Mader* wurde erstmals die Laktatkonzentration unabhängig von respiratorischen Parametern zur Leistungsdiagnostik verwendet (*Mader et al.*, 1974). Aufgrund von klinischen Versuchen an trainierten und untrainierten Probanden determinierte *Mader* die aerobe Ausdauer über die Leistung an der fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l. Die gleiche Laktatkonzentration wurde als „Onset of Blood Lactate Accumulation“ (OBLA) von *Sjödín* festgelegt (*Sjödín et al.*, 1981). Von dieser Arbeitsgruppe wurde eine Korrelation des OBLA mit Ausdauerlaufleistungen nachgewiesen. *Kindermann* führte den Begriff des „aerob-anaeroben Übergangs“ ein (*Kindermann et al.*, 1979). Dieser Bereich beginnt mit der „aeroben Schwelle“, definiert als der erste Anstieg der Blutlaktatkonzentration und endet mit der „aerob-anaeroben Schwelle“, nach welcher die Laktatkonzentration exponentiell ansteigt. Innerhalb dieses aerob-anaeroben Übergangs liegt ein Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und –elimination vor. Daraus wurde nun gefolgert, dass am Punkt der aerob-anaeroben Schwelle ein maximales Laktat-steady-state vorliegen muss.

Aufgrund von Testergebnissen zeigte sich, dass die Schwellenkonzepte, mit fixer Laktatkonzentration als Grundlage, je nach Art und Intensität des Trainings der Probanden ungenaue Ergebnisse lieferten. Die aerobe Schwelle wurde bei Langzeitausdauertrainierten weiter nach rechts verschoben als dem maximalen Laktat-Steady-State entspräche. Bei Ausdauerbelastungen im Bereich der

aerob-anaeroben Schwelle wurde klar, dass tendenziell für gut trainierte Langstreckenläufer zu hohe Schwellenwerte gemessen werden und kein Laktat-Steady-State bei einer fixen Laktatkonzentration von 4mmol/l erreicht werden kann (Keul, 1979; Stegmann et al., 1981; Simon et al., 1981). Diese Beobachtung führte zu neuen Schwellenkonzepten, bei denen die anaerobe Schwelle individuell nach verschiedenen Parametern festgelegt wurde.

*Keul* definierte die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) aufgrund einer Korrelation von anaerober Schwelle und Laktatkurve, als Leistung an dem Punkt der Laktatleistungskurve, in dem die Steigung  $\alpha = 51^{\circ}34'$  beträgt (Keul, 1979). Anhand einer 3maligen Untersuchung von 20 Skilangläufern in verschiedenen Trainingszuständen wurde diese IAS validiert. Hierbei zeigte sich auch, dass die aktuelle Leistungsfähigkeit die Laktatleistungskurve beeinflusst und mit höherem Trainingszustand eine Verschiebung der anaeroben Schwelle zu niedrigeren Laktatwerten erfolgt. *Stegmann* beobachtete eine Veränderung der Diffusions-Eliminationsrate des Laktates bei ansteigender Belastung (Stegmann et al., 1981). So wurde die IAS definiert als Schnittpunkt der Tangente an der Laktatleistungskurve mit dem Zeitpunkt in der Erholungsphase, an dem die Laktatkonzentration der Abbruchsstufe wieder erreicht wird. In diesem Ansatz wird die aerobe Kapazitätsvariabilität des jeweiligen Sportlers und die verbesserte Laktatelimination des Langzeitausdauertrainierten bei der Definition der IAS mitberücksichtigt. Ein Problem ist jedoch die Abhängigkeit der IAS vom Testprotokoll, welche die Vergleichbarkeit verschiedener Belastungsarten stark einschränkt (Heck, 1990). *Simon* beschäftigte sich vor allem mit der Abhängigkeit der Dauerleistungsgrenze von Alter und Trainingszustand. Es wurde der Schluss gezogen, dass eine IAS an dem Punkt der Laktatleistungskurve mit einer Tangentensteigung von  $45^{\circ}$  am besten die individuellen Unterschiede von Kindern, Jugendlichen, Erwachsenen und Sportlern erfassen kann (Simon et al., 1981).

Für unsere Untersuchung wurde nach dem Schema von *Berg* verfahren. Ausgehend von dem Laktatäquivalent als Minimum des Laktat/Leistungs-Quotienten wird, nach Addition von 1,5 mmol/l zum Punkt des ersten Anstiegs über das Basislaktat, die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) festgelegt (Berg

et al., 1990; Dickhuth, 2000). Dieses Konzept hat den Vorteil einer fehlenden Beeinflussung der IAS durch die Variabilität der Ausgangslaktatkonzentration. Zusätzlich ist es in der sportmedizinischen Praxis etabliert und wurde verschiedentlich validiert (Röcker, 2004). So ließ sich im Vergleich mit den traditionellen Schwellenkonzepten eine gute Korrelation zur Ausdauerleistungsfähigkeit feststellen. Die relativ einfache Ermittlung und Kurvenerstellung erleichtert zudem Auswertung und Beurteilung der Laktatleistungskurve (Aunola et al., 1988).

### **2.1.2 Belastungsschemata**

Die Entwicklung von standardisierten Belastungsprotokollen war notwendig um eine objektive, standardisierte Auswertung der Laktatleistungskurve unter Einbeziehung von Herzfrequenz, Laktatkonzentration und Leistung zu ermöglichen. So wurde eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Unterschiede in den Belastungsschemata finden sich in Modus, Anfangsbelastung, Belastungsabstufung, Steigerung, Stufendauer und Pausendauer (de Mareés, 2002).

Als Modus kann eine konstante/rektanguläre Belastung oder eine rampenförmige/trianguläre Belastung gewählt werden. Aufgrund verschiedener Überlegungen hat sich eine Kombination beider Modi in Form eines stufenförmigen Belastungsschemas durchgesetzt. Vorteil dieser Kombination ist das Erreichen eines steady-state verschiedener physiologischer Parameter (Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme, Laktatkonzentration) bei genügend langer Dauer und die exakte Zuordnung der Werte zu bestimmten Belastungen. Wird die Belastung zur Erhebung von Messwerten unterbrochen, so spricht man von einer intermittierenden Belastung.

Die Anfangsbelastung sollte niedrig genug liegen, um Aussagen über den aeroben Stoffwechsel zu ermöglichen und hoch genug, damit der Untersuchungsgang ökonomisch ablaufen kann. Auch bei der Belastungsabstufung sind der Vorteil einer genaueren Messung bei kleineren Steigerungen gegenüber ökonomischen Aspekten abzuwägen.

Die Belastungssteigerung bei der Fahrradergometrie kann durch Variation des Bremswiderstands oder der Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht werden. Bei

modernen elektrodynamischen Ergometern wird die Belastung konstant gehalten, indem der Bremswiderstand automatisch in Abhängigkeit der Tretfrequenz variiert.

In der Laufbandergometrie kann eine Steigerung der Belastung über die Erhöhung der Laufbandsteigung oder der Geschwindigkeit erzielt werden. Die empfohlene Stufendauer variiert je nach Autor zwischen 1 und 6 Minuten, allgemein durchgesetzt hat sich eine Dauer von 2 bis 3 Minuten.

## **2.2 Venen und Sport**

Der CVI werden unterschiedliche pathophysiologische Vorgängen zugrunde gelegt, die auf Abweichungen von der Physiologie des venösen Systems beruhen. In diesem Abschnitt sollen nun die Veränderungen des venösen Systems bei sportlicher Aktivität dargestellt werden. Eingegangen wird dabei auf die Sporttherapie bei venösen Erkrankungen ebenso wie auf die Kompressionstherapie bei sportlicher Aktivität.

### **2.2.1 Sporttherapie / Gefäßtraining**

Ziele einer Sporttherapie bei CVI sollten eine rhythmische Gelenkbewegung zur Verbesserung der Stoffwechselsituation von Gelenk und Knorpel, eine Kräftigung der gelenknahen Muskulatur, vor allem im Unterschenkelbereich, und eine Verbesserung der Lebensqualität sein (Klysz, 1996). Als Grundprinzipien der Sporttherapie werden die Förderung des venösen Blutflusses, die Verbesserung des Venen- und Muskeltonus und der Gewebstrophik sowie die Ödemreduktion genannt (Peschen et al., 1996).

Es zeigt sich, dass sich durch Ausdauertraining verbesserte Fließeigenschaften des Blutes induzieren lassen (Ernst et al., 1987), eine Verbesserung der oxidativen Verwertung des Skelettmuskels erfolgt und eine Umverteilung des Blutvolumens stattfindet (Tan et al., 2000; El-Sayed, 1998). Ebenso wird peripher eine vermehrte Kapillarisation, ein antiatherogener Effekt und vermehrte fibrinolytische Aktivität beobachtet (Bringmann, 1986; Gottschalk et al., 1986). Während körperlicher Aktivität mit Kompressionsstrümpfen wird gegenüber fehlender Kompression eine Reduktion der totalen Hämoglobinkonzentration beobachtet, entsprechend einer verbesserten

venösen Funktion. Es ist eine verbesserte Oxygenierung des Beines gegeben, messbar in Form eines größeren oxygenierten Hämoglobinanteils am Gesamthämoglobin (Agu et al., 2004).

Festgestellt wurde, dass es bei längerfristigem Training aufgrund des erhöhten Blutflusses zu einer Adaptation des venösen Systems kommt. So wird eine Vergrößerung des Venendurchmessers beobachtet, welcher nicht mit einer venösen Insuffizienz einhergeht (Venerando et al., 1983). Als günstige Effekte des Ausdauersportes gelten die Optimierung des Verhältnisses von venösem Tonus, Druck und Volumen, der Funktion der Rücktransporthilfsmechanismen (Kräftigung der Muskelvenenpumpe und Sprunggelenkspumpe, Verbesserung der arteriovenösen Kopplung und der abdominothorakalen Pumpe) und die Aktivierung der lokalen Stoffwechselregulation (Weidinger et al., 1987).

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der nach sportlicher Belastung erniedrigte Venentonus und ein erhöhtes venöses Pooling zu einer relativen venösen Insuffizienz führen können (Peschen et al., 1996; Veraart et al., 1994).

Die Effektivität eines venösen Trainingsprogramms ist durch Studien belegt. So zeigte sich z.B. nach 6monatigem konsequenten Training bei CVI Patienten eine Verbesserung bezüglich subjektiver Beschwerden wie Schmerzen und Ödemneigung und eine verbesserte Beweglichkeit des Sprunggelenks (Klysz et al., 1997; Werner, 2001). Ebenso wird berichtet, dass durch frühzeitige konsequente Therapie mit Kompressionsstrümpfen in Kombination mit Physiotherapie und der Teilnahme an einer Gefäßsportgruppe die venöse Drainage verbessert (Werner, 2001) und schwerwiegende Komplikationen der CVI verringert werden können (Jünger et al., 1998). Die Morbidität bei Patienten mit venösen Insuffizienzen unterscheidet sich signifikant bei Trainierten und Untrainierten (Bringmann, 1986).

Im Allgemeinen wird Patienten mit CVI von Sportarten abgeraten, bei denen es durch große Gewichtsbelastungen zu einer intraabdominellen Druckerhöhung kommt, der dann wiederum zu einem höheren intravenösen Druck führt. Auch Sportarten mit Belastung durch schnelle Tempo- und Richtungswechsel wie beispielsweise Squash werden nicht empfohlen. Des Weiteren sind Sportarten mit einem erhöhten Verletzungsrisiko der Beine nicht zu empfehlen (Klysz, 1996).

Deshalb sollten vor allem rhythmische, ausgeglichene Sportarten ohne zu große Belastungsspitzen und abrupte Bewegungswechsel gewählt werden.

Als empfehlenswert gelten Laufen/Walking, Radfahren und Schwimmen (Jünger et al., 1998).

Als Hinweis auf einen Vorteil von zyklischen Sportarten wie Radfahren und Schwimmen gegenüber azyklischen Sportarten wie Eishockey und Ringen kann eine signifikant erniedrigte Varikosisprävalenz in dieser Sportlergruppe bei gleicher familiärer Disposition gewertet werden (Peschen et al., 1996). Ein Problem bei einer körperlichen Belastung bei Patienten mit CVI kann die stärkere Belastung des venösen Systems durch den höheren Blutfluss darstellen.

Eventuell können sich die Symptome einer CVI verschlechtern. Die erhöhte Durchblutung der Beine bei reduzierter venöser Funktion führt zu einem größeren hydrostatischen Druck an den unteren Extremitäten. Ist die venöse Drainage eingeschränkt, kommt es zu einer verstärkten venösen Hypertonie, welche wiederum den effektiven Filtrationsdruck in den Kapillargefäßen erhöht und damit zu einer Ödembildung führt (Silbernagl et al., 1998). Um dieser Tendenz entgegenzuwirken, ist eine konsequente Kompressionstherapie der Patienten während des Sports durchzuführen (Klysz, 1996; Weidinger et al., 1987). Nach *Schauer et al.* ist die Kompression während des Trainings allerdings erst ab einem höheren Schweregrad der venösen Insuffizienz als zwingend ansehen (Schauer et al., 1990).

### **2.2.2 Kompressionstherapie**

Um eine optimale Wirkung einer Kompressionstherapie zu erzielen wird am entstauten Bein ein medizinischer Kompressionsstrumpf (MKS) angepasst. Dieser sollte einen definierten Ruhe- und Arbeitsdruck am Bein bei einem Druckgradienten von distal nach proximal garantieren. Für die Wirkungsweise ist die Einhaltung dieser Vorgaben maßgeblich. Über die Druckerhöhung kommt es zu einer Kompression der superfiziellen, dilatierten Venen, damit zu einer Verringerung des Venenquerschnittes und Beschleunigung des venösen Blutflusses (Stöberl, 1989). Zusätzlich wird eine Verbesserung der

Venenklappenschließfunktion und der venösen Drainage beobachtet (Jünger et al., 1998; Weidinger et al., 1987).

Um eine optimale Wirkung zu erzielen, sollte der Anpressdruck an die Ausprägung der venösen Insuffizienz angepasst werden. So sollte die Versorgung der milden Formen der CVI überwiegend durch einen Kompressionsstrumpf der Klasse 2 vorgenommen werden, während bei postthrombotischen Syndromen eine höhere Kompressionsklasse empfohlen wird (Stöberl et al., 1989).

Die konservative Behandlung der CVI durch MKS ist anerkannt und evaluiert. Nach Kompressionstherapie kommt es zu einem Rückgang von Symptomen wie Schmerzen oder Juckreiz sowie zu einer Verbesserung der Mikrozirkulation und einer Verringerung des durchschnittlichen Venendurchmessers (Klyscz et al., 1997).

Ein Problem bei der Kompressionstherapie scheint die Compliance der Patienten zu sein. So ist es Läufern und Radfahrern schwer zu vermitteln, dass gerade beim Sport der Kompressionstrumpf wichtig ist, um Beschwerden zu verringern. Ursache hierfür können modische Vorbehalte oder auch ein unangenehmes Hautgefühl durch den Kompressionsstrumpf während des Trainings sein. Der Tragekomfort kann unter den extremeren Bedingungen bei sportlicher Betätigung eingeschränkt sein, so dass es zum Rutschen des Strumpfes kommen kann. Ein weiteres Problem stellt die erhöhte Schweißproduktion während des Trainings dar.

Eine Beeinflussung der Leistungsfähigkeit und des lokalen Stoffwechsels durch das Tragen eines Kompressionsstrumpfes ist denkbar. Beschwerden wie Schmerzen oder Ödemneigung können durch die Kompression verringert werden. Die Oxygenierung der Skelettmuskulatur ist mit Kompressionsstrumpf erhöht. Theoretisch kann daraus eine Steigerung der Leistungsfähigkeit resultieren. Auch der psychologische Effekt durch das Gefühl der Sicherheit während der Belastung könnte eine Rolle spielen.

Andererseits ist die Frage nach einer Behinderung des Sportlers durch die Kompression zu stellen. *Flügge et al.* beobachteten eine signifikante Reduzierung der statischen Kraft der Beine nach 9wöchiger Kompressionstherapie (Flügge et al., 1971). Dabei wurde eine Korrelation von

muskulärer Atrophie und Kompressionsstärke beobachtet. In späteren Untersuchungen wurde festgestellt, dass diese Atrophie durch ein Krafttraining kompensiert werden kann (Flügge et al., 1976).

Inwieweit es durch das Tragen eines Kompressionsstrumpfes zu einer Beeinträchtigung der dynamischen Muskelarbeit kommt, ist bisher nicht untersucht. Der arterielle Blutfluss am Bein kann durch die Kompression verringert werden, weshalb auch die periphere arterielle Verschlusskrankheit eine Kontraindikation zur Kompressionstherapie darstellt.

## 2.3 Fragestellung

### 2.3.1 Beeinflussung der Ausdauerleistung bei CVI durch eine Kompressionstherapie

Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf dem Aspekt einer möglichen Beeinflussung der Ausdauerleistungsfähigkeit, insbesondere des Laktatspiegels, durch eine Insuffizienz der Hautstammvenen. Um eine vorhandene Insuffizienz zu beeinflussen, kann ein medizinischer Kompressionsstrumpf angepasst werden. Die Beeinflussung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch Anlage eines MKS kann als Maß für den Einfluss der chronisch venösen Insuffizienz auf ebendiese Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen werden. Hierbei muss der Akuteffekt des MKS bei Anlage von den Auswirkungen einer konsequenten Kompressionstherapie auf die CVI unterschieden werden. Aus diesen Überlegungen lassen sich nun 2 Thesen ableiten:

**These 1:** Das Anlegen eines medizinischen Kompressionsstrumpfes bei Läufern mit einer chronisch venösen Insuffizienz führt zu einer Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

**These 2:** Eine mittelfristige, konsequente Kompressionstherapie bei Läufern mit einer chronisch venösen Insuffizienz führt zu einer Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

Um diese Thesen zu überprüfen, sollten 3 Ausdauerbelastungen durchgeführt werden. Dabei wurden als Parameter für die Ausdauerleistungsfähigkeit die Herzfrequenz, Laktatkonzentration und Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) und an der aeroben Schwelle (AS) gemessen und verglichen. Zum Ausgleich der Insuffizienz der Hautstammvenen wurde bei 2 von 3 Ausdauerbelastungen eine Kompression mit medizinischen Kompressionsstrümpfen durchgeführt. Als Ausgangswert diente eine Messung ohne Kompressionsstrumpf vor Beginn der Therapie. Der Akuteffekt wurde im Vergleich der ersten beiden Messungen mit und ohne MKS überprüft. Um den Langzeiteffekt einer Kompressionstherapie zu eruieren, wurden die Daten der

Messung ohne MKS mit denen einer Messung mit MKS sowie einer vorangegangenen 4-wöchigen konsequenten Kompressionstherapie verglichen.

### **2.3.2 Reduktion der Beschwerden durch Kompressionstherapie**

Zur Frage der subjektiven Beschwerdesymptomatik bei Patienten mit CVI ist interessant, ob das Tragen eines Kompressionsstrumpfes während des Trainings zu einer symptomatischen Verbesserung führt. Die Beschwerden der CVI und deren Beeinflussung durch eine Kompressionstherapie bei sportlich aktiven Menschen sind hierbei von besonderem Interesse.

**These 3:** Eine Kompressionstherapie führt zu einer Reduktion der CVI-spezifischen Beschwerden von aktiven Sportlern im Alltag

**These 4:** Eine Kompressionstherapie führt zu einer Reduktion der CVI-spezifischen Beschwerden während oder nach sportlicher Aktivität

Zur Überprüfung dieser Thesen sollte ein standardisierter Fragebogen entwickelt werden. CVI-typische Beschwerden sollten anhand 28 Items abgefragt werden, wobei für den Alltag und die Zeit während oder nach sportlicher Aktivität getrennte Bewertungen verlangt wurden. Durch den Vergleich von Beschwerdehäufigkeit bzw. der Ausprägung der Beschwerden in Alltag und bei oder nach sportlicher Aktivität sollten sich nun obige Thesen überprüfen lassen.

### **2.3.3 Compliance**

Ein Problem der Kompressionstherapie stellt die mangelnde Compliance des Patienten dar. Im Rahmen dieser Arbeit sollte daher die Problematik des Tragen eines Kompressionsstrumpfes bei sportlicher Aktivität hinsichtlich Häufigkeit des Tragens und Tragekomfort untersucht werden.

**These 5:** Die Compliance bezüglich der Kompressionstherapie bei Läufern mit einer chronisch venösen Insuffizienz ist gering.

### **2.3.4 Eignung des MKS Venotrain champion® für eine Kompressionstherapie bei Läufern**

Die Eigenschaften des verwendeten Materials sind ein entscheidender Faktor bei der Compliance bezüglich der Kompressionstherapie. Bei sportlicher Aktivität werden besonders hohe Anforderungen an den MKS gestellt. Deshalb sollte Wert auf einen hohen Tragekomfort bei gleichzeitig gewährleisteter Widerstandsfähigkeit gelegt werden. Mit dem Venotrain Champion® wurde ein Unterschenkelkompressionsstrumpf ausgewählt, bei dem diese Eigenschaften besonders berücksichtigt wurden.

**These 6:** Der MKS Venotrain Champion® ist geeignet für eine Kompressionstherapie bei Läufern.

Es sollte ein Fragebogen bezüglich Tragekomfort und Materialeigenschaften des Strumpfes entwickelt werden, um diese These zu prüfen. Dieser sollte eine Trennung der Bewertung der Eigenschaften im Alltag und bei sportlicher Aktivität eine genauere Differenzierung ermöglichen.

## **3 Material und Methodik**

### **3.1 Probandenkollektiv**

Das Probandenkollektiv setzte sich aus Läufern mit einer venösen Insuffizienz zusammen. Grundvoraussetzung für die Teilnahme war eine wöchentliche Trainingsstrecke der Probanden von mehr als 30 Kilometern sowie eine venöse Insuffizienz, die mindestens das Stadium C2 nach CEAP-Klassifikation erfüllte. Die Rekrutierung wurde über Anzeigen in überregionalen Medien („Runner’s World“, „Bike“) und Internetauftritten („Tour“) der Sportpresse, sowie über Artikel in der lokalen Presse („Schwäbisches Tagblatt“) durchgeführt. Zusätzlich wurden 300 Sport-, Turn- und Radvereinen der Regionen Tübingen, Reutlingen, Böblingen und Zollernalb angeschrieben. Ziel war es, ein möglichst breit gefächertes, repräsentatives Probandenkollektiv zu erhalten, welches sowohl Hobby- und Freizeit- als auch Leistungssportler beinhalten sollte. Die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität gab ein positives Votum zur Durchführung der Studie. Die Probanden gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Studienteilnahme. Probandengelder oder Unkosten der Teilnehmer wurden nicht erstattet. Die Auswahl der Probanden erfolgte aufgrund unten definierter Ein- und Ausschlusskriterien, wobei ein Zielkollektiv von 20 Läufern festgelegt wurde. Nach Abschluss der ersten Untersuchungen und erfüllten Einschlusskriterien erfolgte eine Aufnahme in die Studie.

#### **3.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden im Studienprotokoll festgelegt.

Einschlusskriterien waren:

- venöse Insuffizienz (mind. Stadium C2 nach CEAP-Klassifikation)
- Alter zwischen 18 und 55 Jahren
- wöchentliche Lauftrainingsstrecke > 30 km

Ausschlusskriterien waren:

- Diabetische Polyneuropathie
- Tiefe Beinvenenthrombose in den letzten 3 Monaten

- Nicht beherrschbare Hypertonie
- Fortgeschrittene Herzerkrankung
- Periphere arterielle Verschlusskrankheit
- Deutlich eingeschränkte Sprunggelenksbeweglichkeit (Dorsalflexion < 5°)
- Venenoperativer Eingriff oder Sklerotherapie in den letzten 3 Monaten
- Gleichzeitige Therapie mit Immunsuppressiva, Zytostatika und Venentherapeutika
- Fortgeschrittene Leberinsuffizienz und/oder Niereninsuffizienz
- Progrediente maligne Erkrankungen
- Schwere allgemeine Erkrankungen
- Bekannte Unverträglichkeiten gegen das Kompressionsstrumpfmaterial
- Teilnahme an einer anderen klinischen Studie mit Medizinprodukten und/oder nicht zugelassenen Arzneimitteln in den letzten 4 Wochen
- Vorliegen einer Schwangerschaft

### **3.1.2 Studienaufbau**

Es handelt sich um eine offene, prospektive, randomisierte Kohortenstudie über 40 Tage. Durchgeführt wurden klinische Untersuchungen, eine Versorgung mit medizinischen Kompressionsstrümpfen sowie standardisierte Ausdauerbelastungsuntersuchungen mit Kapillarblutentnahme zur Laktatbestimmung auf dem Laufbandergometer. Zusätzlich wurden pro- und retrospektive Daten mithilfe von Fragebögen erhoben und ausgewertet.

### **3.1.3 Studienprotokoll (siehe auch Tabelle 3-1)**

Nach Anmeldung und Terminvereinbarung der Probanden in der angiologischen Ambulanz wurde eine erste orientierende Untersuchung (U1) durchgeführt. Hierbei wurde eine allgemeine und spezielle, venöse Anamnese erhoben, sowie eine klinische Untersuchung durchgeführt. Es folgte eine Digitale Photoplethysmographie (DPPG) und eine venöse/arterielle Doppleruntersuchung beider Beine. Waren die Einschlusskriterien für die Studienteilnahme erfüllt, so wurde ein Termin für eine zweite Untersuchung vereinbart.

Bei der zweiten Untersuchung (U2) wurde eine ausführliche Anamnese erhoben. Vertiefend exploriert wurde vor allem bezüglich des Beginns und der Vorbehandlung der Varikose, aktuellen Beschwerden an den Beinen wie Schmerzen, Spannungsgefühl und Ödemen, stehender Tätigkeit (> 5 Stunden / Tag) sowie bezüglich Vorerkrankungen, bestehenden Begleiterkrankungen, Medikamenteneinnahme, Operationen, Unfällen und eventuellen Schwangerschaften. Familienanamnestisch wurde das Vorkommen von Varikosis, Ulzera, Thrombosen und Venenoperationen erfragt.

Die klinische Untersuchung der Probanden beinhaltete die Messung von Körpergewicht und Körpergröße, die Untersuchung des Allgemeinzustandes, von Herz und Kreislauf, Lunge, Abdomen, Extremitäten und der Sensibilität der Beine. Ein Ruhe-Elektrokardiogramm wurde erstellt und ausgewertet und eine farbkodierte Duplexsonographie (FKDS) beider Beine durchgeführt. Die Umfänge beider Beine wurden gemessen und Kompressionsstrümpfe „nach Maß“ für beide Beine angepasst.

Die Probanden wurden randomisiert in Gruppe 01 oder 02 zugeteilt. Im Anschluß erfolgte die erste Belastungsuntersuchung (B1). Nach 8 Tagen folgte die zweite Belastungsuntersuchung (B2) und 4 Wochen später die dritte Belastungsuntersuchung (B3). Dabei ist zu beachten, dass Probanden der Gruppe 1 der jeweiligen Disziplin zu den Terminen B2 und B3 Kompressionsstrümpfe trugen, während die Probanden der Gruppe 2 zu den Terminen B1 und B3 mit Strümpfen untersucht wurden (siehe Tabelle 3-2).

In der Zeit zwischen B2 und B3 hatten die Probanden die Anweisung, ihre Kompressionsstrümpfe täglich zu tragen, vor allem während des Trainings. Am Termin B3 wurde den Probanden ein Fragebogen ausgeteilt, der vor der Ergebnismitteilung von ihnen ausgefüllt wurde.

HAUTKLINIK	arterieller Doppler, DPPG, Arztgespräch
	Duplexsonographie, klinische Untersuchung, Anpassung Kompressionsstrümpfe
	Randomisierung
SPORTMEDIZIN	Tag 1 - Belastungsuntersuchung 1 (B1)
	Tag 8 - Belastungsuntersuchung 2 (B2)
	Tag 40 - Belastungsuntersuchung 3 (B3) Ausfüllen des Fragebogen

Tabelle 3-1 Zeitlicher Ablauf

	Untergruppe 01	Untergruppe 02
1. Belastung (B1)	ohne Kompressionsstrümpfe	mit Kompressionsstrümpfen
2. Belastung (B2)	mit Kompressionsstrümpfen	ohne Kompressionsstrümpfe
3. Belastung (B3)	mit Kompressionsstrümpfen	mit Kompressionsstrümpfen

Tabelle 3-2 Belastungsuntersuchungen

## **3.2 Untersuchungsmethoden**

### **3.2.1 Continuous wave (CW)-Dopplersonographie (venös/arteriell)**

Die continuous wave (CW)-Dopplersonographie dient der Untersuchung des venösen und arteriellen Blutflusses. Durch diese Untersuchungsmethode kann ein eventuell vorhandener venöser Reflux sowie eine periphere arterielle Verschlusskrankheit diagnostiziert werden.

#### **Biophysikalische Grundlagen**

Die Dopplersonographie beruht auf dem von Christian Doppler 1842 beobachteten und nach ihm benannten Dopplereffekt. Der Dopplereffekt besagt, dass es bei einer relativen Bewegung von Schallquelle und Schallempfänger zu einer Frequenzänderung kommt. Verringert sich der Abstand von Schallquelle zu Schallempfänger so wird die Frequenz höher, wird er vergrößert, so nimmt die Frequenz ab. Dies wird als Dopplerverschiebung bezeichnet (Klews, 1993). Durch Frequenzanalyse ist es möglich, die Richtung der Verschiebung und damit des Blutflusses zu erfassen. Bei der Continuous wave (CW)-Dopplersonographie sind Sende- und Empfängerkristall getrennt im Schallkopf untergebracht. Dadurch können gleichzeitig Signale emittiert und registriert werden. Die gemessene Dopplerverschiebung ist dabei der Geschwindigkeit der Blutströmung proportional (Gerlach et al., 2002). Die venöse CW - Dopplersonografie der Beine dient zur Erfassung einer ortho - bzw. retrograden Strömung des Blutes und eines damit verbundenen möglichen pathologischen venösen Refluxes. Man unterscheidet spontane Strömungsgeräusche (S - Sounds) gegen durch Provokation hervorgerufene Signale (A - Sounds). Provokationsmanöver dienen der Änderung der Druckverhältnisse. Dies sind zum einen das Valsalva-Manöver und eine forcierte Atmung, sowie manuelle Kompression und Dekompression. Physiologisch findet man während der Ruheatmung bei Expiration einen kardial gerichteten venösen Blutfluss, der bei Inspiration spät sistiert. Wenn der intrathorakale bzw intraabdominale Druck den Druck des venösen Gefäßsystems übersteigt, führt das zu einem retrograd gerichteten Druckgradienten und damit zum Schluss der Venenklappen, Sind die Venenklappen insuffizient, kommt es durch Provokationsmanöver zu einem

retrograden Blutfluss bzw. A-Sound. Bei einem retrograden Blutfluss >1 Sekunde kann auf einen pathologischen Reflux geschlossen werden (Gerlach et al., 2002; Rabe, 2003).

Bei der arteriellen CW-Dopplersonographie wird die arterielle Durchblutungssituation der Extremitäten beurteilt. Ausschlaggebend für die Beurteilung ist die Kurvenform des Dopplersignals und der systolische Arteriendruck. Die Messung des systolischen Artereindrucks erfolgt durch proximal des Schallkopfes ausgeübte Kompression durch eine Blutdruckmanschette, bis zu dem Punkt an dem der technisch messbare Puls verschwindet. Dieser Punkt wird in mmHg als systolischer Arteriendruck notiert. Jetzt werden die Form der Kurve, der systolische Arteriendruck und der Knöchel-Arm-Quotient bewertet, um eine periphere arterielle Verschlusskrankheit auszuschließen.

### **Ablauf der Untersuchung**

Der Proband wird liegend, sitzend oder stehend untersucht. Man beginnt die Untersuchung in der Leistenregion und sucht die Einmündung der V. saphena magna in die V. femoralis auf. Dazu wird der Schallkopf im 45° Winkel auf die zu untersuchende Region, auf die zuvor Kontaktgel aufgetragen wurde, aufgesetzt und bewegt, bis venöse S-Sounds gemessen werden können. Eventuell durch Provokationsmanöver auslösbare A-Sounds werden aufgezeichnet und darüber die Funktion der Venenklappen beurteilt. Dieser Untersuchungsgang wird nun über der Strecke der Vena saphena magna bis zum Malleolus medialis abschnittsweise wiederholt. Ebenso wird mit der kontralateralen V. saphena magna, beiden Vv. saphenae parvae, Vv. perforantes und eventuell auffindbaren Seitenästen verfahren.

Zur Erhebung des arteriellen Status werden am liegenden Patienten auf beiden Seiten die Signale der Aa. dorsalis pedis, Aa. tibialis posterior und Aa. radialis gemessen. Die Untersuchung beginnt mit der Aufzeichnung des arteriellen Dopplersignals in Ruhe. Durch Anlegen einer Blutdruckmanschette und Druckerhöhung durch Aufpumpen bis zu einem übersystolischen Druck kann bei fortlaufender Dopplermessung der systolische Arteriendruck ermittelt und notiert werden.

### **Hersteller**

Für die Untersuchung wurde ein bidirektionales Pocketdopplergerät mit Stiftsonde verwendet („Multi Dopplex® II“, HNE Healthcare, Hilden).

### **Aussagefähigkeit der Untersuchungsmethode**

Die venöse CW-Dopplersonographie als Screeningmethode zur venösen Refluxdiagnostik, vor allem der epifaszialen Venen, ist validiert und etabliert (Gerlach et al., 2002; Rabe, 2003; McMullin et al., 1992). Die arterielle CW-Dopplersonographie ist ebenso ein validiertes Diagnostikverfahren zum Ausschluß einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (Ruff, 2003; Johnston et al., 1987; Bernstein et al., 1982; Lepantalo et al., 1983).

### **3.2.2 Digitale Photoplethysmographie (DPPG)**

Die Digitale Photoplethysmographie ist ein nicht invasives Verfahren zur Erfassung des venösen Blutvolumens und der dynamischen Venenfunktion. Die Parameter, welche zur Quantifizierung der venösen Funktion erfasst werden, sind die Abpumpleistung und die venöse Wiederauffüllzeit.

#### **Biophysikalische / technische Grundlagen**

Die DPPG beruht auf der unterschiedlichen Reflexion von Lichtwellen in Abhängigkeit vom Blutgehalt des Gewebes. Durch Emission eines definierten Lichtes mit der Wellenlänge  $\lambda=800$  nm und Messung des reflektierten Anteils lässt sich ein relativer Anhalt über die Blutfülle des Gewebes gewinnen. Dazu wird die Intensität des reflektierten Lichtes über die Modulation eines elektrischen Signals registriert. Ausschlaggebend für die Beurteilung des Blutgehalts sind dabei vor allem die Erythrocyten. Eine hohe Erythrocytenkonzentration bewirkt eine Abnahme des reflektierten Lichtanteils und damit eine Verringerung des elektrischen Signals. Das messbare Blutvolumen wird aufgrund der anatomischen Gegebenheiten maßgeblich durch den venösen Hautplexus bestimmt, da dieser parallel zu Hautoberfläche und Messelektrode verläuft.

Zu Beginn jeder DPPG-Messung wird die Kalibration durch Messung des Ausgangszustandes vorgenommen. Dieser Messwert wird als Nullwert definiert. Alle folgenden Werte verstehen sich nun relativ zu diesem Ausgangswert. Eine Aktivierung der Muskel-Gelenkpumpe in Form einer Dorsalflexion des Fußes führt zu verstärkter venöser Drainage und damit zu einer Abnahme der Blutfülle des venösen Hautplexus. Dies stellt sich als Zunahme des Anteils des reflektierten Lichtes dar. Die Wiederauffüllung des venösen Systems lässt den Reflexionsanteil des emittierten Lichtes sinken, bis der Ausgangszustand wieder erreicht ist. Diese Zeit wird registriert und als venöse Wiederauffüllzeit angegeben, eine Einteilung ist Tabelle 3-3 zu entnehmen. Die physiologische Wiederauffüllung des venösen Systems erfolgt durch einen orthograden Blutfluss über das Kapillarsystem, das einen hohen Gefäßwiderstand und geringen Blutfluss aufweist. Dementsprechend ist die venöse Wiederauffüllzeit lang. Bei einem pathologischen retrograden Fluss des venösen Blutes,

beispielsweise aufgrund insuffizienter Venenklappen, ist der Gefäßwiderstand gering, der Blutfluss hoch und damit die venöse Wiederauffüllzeit verringert.

Schweregrad	venöse Wiederauffüllzeit $T_0$	Interpretation
Normal	> 25 s	gesund
Grad I	20 – 25 s	leichte Abflussstörung
Grad II	10 – 20 s	mittelschwere Abflussstörung
Grad III	< 10 s	schwere Abflussstörung

Tabelle 3-3 Einteilung der venösen Funktion anhand der venösen Wiederauffüllzeit

### **Ablauf der Untersuchung**

Es werden am sitzenden Probanden Messelektroden an beiden Beinen 10 cm oberhalb des Malleolus medialis auf einem gesunden Hautareal angebracht. Nach erfolgter digitaler Kalibration des Gerätes flektiert der Proband die Sprunggelenke nach Metronomvorgabe 10mal in 15 Sekunden nach dorsal. Danach werden die Füße flach auf den Boden abgesetzt. Durch die Auswertung des Anteils des reflektierten Lichtes lässt sich das Blutvolumen des venösen Systems über die Zeit darstellen. Daraus kann Abpumpfunktion und Wiederauffüllzeit des venösen Systems errechnet und ein Grading der venösen Insuffizienz vorgenommen werden.

Dabei ist zu beachten, dass diese Einteilung nicht mit dem klinischen Erscheinungsbild korrelieren muss (Rabe, 2003). Bei pathologisch kurzer Wiederauffüllzeit werden Tourniquets angelegt, über die eine genauere Lokalisation der Störung möglich ist. Diese Tourniquets entsprechen handelsüblichen Blutdruckmanschetten und dienen der Kompression der extrafaszialen Hautstammvenen. Es werden 2 weitere Messungen durchgeführt, bei denen jeweils kurz distal der Einmündung von V. saphena magna und V. saphena parva ein Tourniquet angelegt und auf 60 mmHG aufgepumpt wird. Ist eine Verlängerung der venösen Wiederauffüllzeit nach Tourniquet-Anlage zu beobachten, so spricht dies für eine Insuffizienz des epifaszialen Venenabschnittes proximal Tourniquets. Eine Beispielkurve findet sich in Abbildung 3-1.

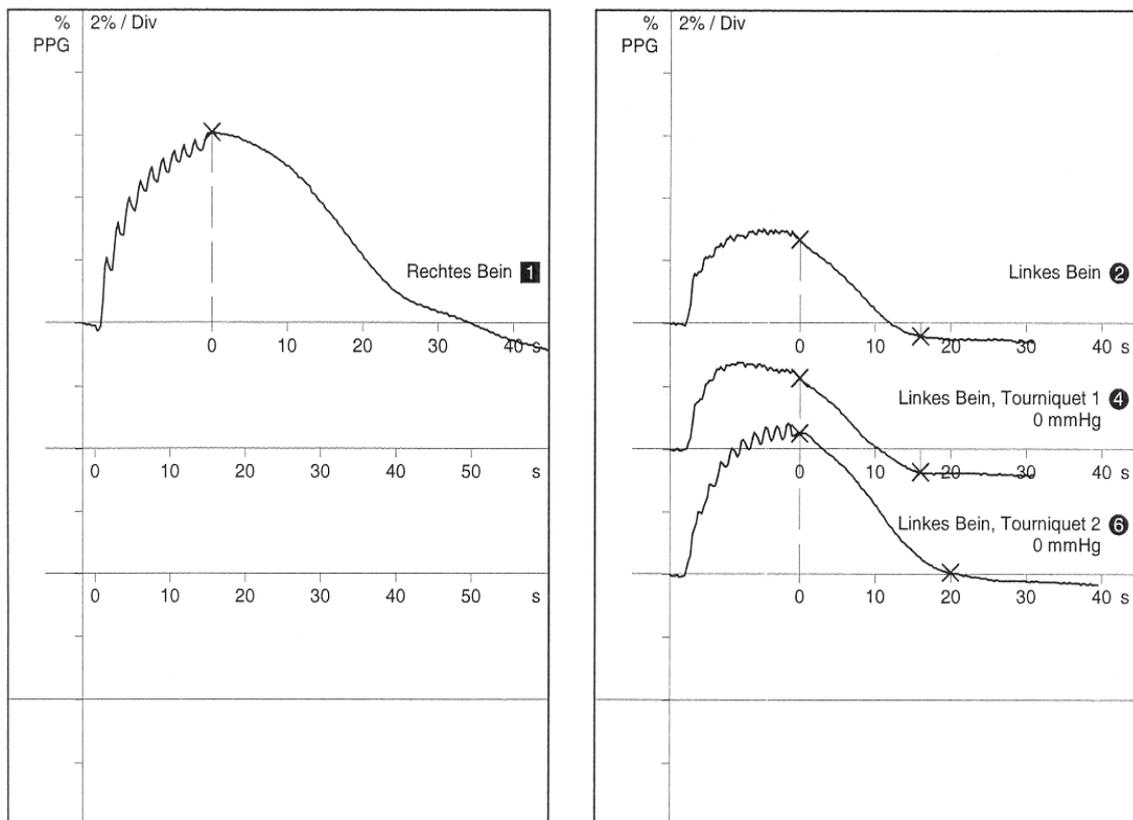


Abbildung 3-1 DPPG-Kurve. Links: normale Venenfunktion. Rechts: Pathologische Venenfunktion mit deutlich verkürzter venöser Wiederauffüllzeit  $T_0$  und Besserung durch Tourniquet.

### Hersteller

Die Untersuchung wurde mit dem digitalen Photoplethysmographen „Vasoquant VQ 1000“ (Elcat, Wolfratshausen) durchgeführt.

### Aussagefähigkeit der Methode

Die digitale Photoplethysmographie ist zur quantitativen Einschätzung von funktionellen Veränderungen des oberflächlichen und tiefen Venensystems gut geeignet und als Diagnostikverfahren akzeptiert (Schultz-Ehrenburg et al., 2001; Graham, 1996; Weiss, 1993). Sie zeichnet sich aus durch eine sehr hohe Sensitivität, bei allerdings geringer Spezifität (Bays et al., 1994). Zur genaueren Differenzierung der Funktionsstörung ist die DPPG alleine jedoch nicht

aussagekräftig genug und sollte mit anderen Verfahren kombiniert werden (Mosti et al., 2000; Somjen et al., 1993; McMullin et al., 1992).

### **3.2.3 Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS)**

Die Farbkodierte Duplexsonographie wird zur Diagnostik der Lokalisation eines venösen Refluxes eingesetzt.

#### **Biophysikalische Grundlagen**

Die farbkodierte Duplexsonographie beruht auf der Kombination von konventioneller Sonographie und Dopplersonographie. Dabei werden Ultraschallbilder gleichzeitig im B-Mode (brightness-mode) und im Farb-Mode auf dem Monitor abgebildet, so dass sowohl morphologische Strukturen als auch Bewegungen der Strukturen zu sehen sind. Ein B-Mode Bild wird über die Darstellung der Intensität der reflektierten Wellen errechnet. Diese Intensität ist abhängig von der Dichte und dem Reflexionsverhalten des Gewebes. So kommt es an Übergängen von unterschiedlichen Strukturen im Gewebe zu charakteristischen Reflexionsphänomenen, die eine Differenzierung erlauben. Ein Farb-Mode Bild entsteht mithilfe eines pulsed-wave (PW) Dopplers. Im Unterschied zum CW-Doppler sind bei einem PW-Doppler Empfänger- und Senderkristall identisch. Es wird ein Signal emittiert und das resultierende Echo registriert (sog. Puls-Echo-Zyklus). Aus Laufzeit und Stärke des empfangenen Signals lassen sich Rückschlüsse auf die Struktur des Gewebes bzw. durch Analyse der Frequenzverschiebungen auf Bewegungen im Gewebe ziehen. Diese Dopplerverschiebungen werden je nach relativer Bewegung zum Schallkopf in roten oder blauen Farbschattierungen auf dem Ultraschallgerät ausgegeben und erlauben dadurch, Richtung und Geschwindigkeit eines Blutflusses darzustellen.

Mithilfe von Provokationsmanövern während der Untersuchung lässt sich ein eventuell vorhandener venöser Reflux provozieren, der pathognomisch für eine venöse Insuffizienz ist. Derartige Manöver können der Valsalva-Pressversuch, eine forcierte Atmung und manuelle Kompression und Dekompression sein.

### **Ablauf der Untersuchung**

Der Untersuchungsgang entspricht prinzipiell dem der CW-Dopplersonographie. Einem gemessenen Reflux kann nun ein anatomisches Korrelat zugeordnet werden. Die Suffizienz bzw Insuffizienz bestimmter Venenabschnitte wird schriftlich und auf Speichermedien dokumentiert.



Abbildung 3-2 Durchführung einer Farbkodierten Duplexsonographie (Angiologische Ambulanz der Universitätshautklinik Tübingen)

### **Hersteller**

Die Farbkodierte Duplexsonographie wurde mit dem Gerät „HDI 5000“ (Philips Medical Systems, Solingen) durchgeführt.

### **Aussagefähigkeit der Methode**

Die Farbkodierte Duplexsonographie ist der Goldstandard in der Diagnostik venöser Insuffizienz und wird als Referenzmethode verwendet (Bays et al., 1994; Wills et al., 1998; Campbell et al., 1996; Stiegler et al., 1994; Schultheiss et al., 1997).

### 3.2.4 Perometer

Die Ausmessung des Beiumfangs erfolgte mithilfe eines Perometers. Als grundlegendes Prinzip wird dabei die Registrierung eines von Leuchtdioden (LEDs) emittierten Signals benutzt. In einem Messrahmen angeordnete LEDs werden am Bein des stehenden Probanden von distal nach proximal verschoben. Dabei messen im Rahmen gegenüberliegende Sensoren die ankommenden Lichtimpulse und geben die Information an eine Registriereinheit in einem PC weiter. Durch die Auslöschung des Signals am Bein lässt sich ein 2-dimensionales Konturbild des Beines errechnen und die exakten Maße für einen Medizinischen Kompressionsstrumpf können abgelesen werden (Pero-Systems Messgeräte GmbH, 2005). Die Messung wurde durchgeführt mit einem Perometer „Typ 400 T“ (Pero-System, Wuppertal).

### 3.2.5 Medizinischer Kompressionsstrumpf

Die Probanden wurden mit einem Medizinischen Kompressionsstrumpf (MKS) der Kompressionsklasse 2 (entsprechend einem Druck von 23-32 mmHg) versorgt. Die Kompressionsklassen (KKL) sind definiert über den Anpressdruck im Knöchelbereich ohne Belastung (siehe Tabelle 3-4). Zusätzlich muss ein definierter Druckgradient von distal nach proximal gewährleistet sein.

Kompressionsklasse	Kompressionsintensität	Kompression in mmHg
Klasse I	leicht	18-21
Klasse II	mittel	23-32
Klasse III	kräftig	34-46
Klasse IV	sehr kräftig	49 und größer

Tabelle 3-4 Kompressionsklassen

Die Wahl der richtigen Kompressionsklasse ist abhängig von der Ausprägung der CVI (65). Unter der Berücksichtigung der milden Formen der CVI der Probanden und dem Tragekomfort, vor allem auch während sportlicher Belastung, wurde eine Versorgung der Probanden mit einem Unterschenkelkompressionsstrumpf der Kompressionsklasse 2 gewählt. Der

Venotrain Champion® ist ein nahtloser Strumpf mit geschlossener Fußspitze, hergestellt aus Tactel®, Baumwolle sowie Lycra® Elasthan Garn. Bei der Auswahl wurde besonders auf die Aspekte Tragekomfort, Atmungsaktivität, Wärme- und Feuchtigkeitsregulation Wert gelegt (Bauerfeind Phlebologie GmbH, 2004). Hersteller des Venotrain Champion® ist die Firma Bauerfeind Phlebologie, Zeulenroda.

### **3.2.6 Fragebogen**

Zur Evaluierung der subjektiven Beschwerden im Alltag und während des Trainings, des Tragekomforts, der Compliance bezüglich der Tragedauer und der Lebensqualität wurde ein Fragebogen in Anlehnung an den Tübinger Lebensqualitätsfragebogen (TLQ-CVI) entworfen. Der Tübinger Lebensqualitätsfragebogen wird in der klinischen Forschung angewandt und ist reliabel und validiert (Klyscz et al., 1998; Schall, 2000).

Auf einer 5-stufigen ordinalen Skala wurde von den Probanden eine Einschätzung der subjektiven Beschwerden bezüglich Häufigkeit, Intensität und Leidensdruck vorgenommen. Diese Angaben wurden für die Zeit vor Beginn und nach einer Kompressionstherapie über 4 Wochen gemacht. Der vollständige Fragebogen ist dem Anhang zu entnehmen. Für die Auswertung wurde eine Umkodierung der einzelnen Spalten in Zahlenwerte vorgenommen. So wurde eine Markierung der Spalte „hatte ich nicht“ als 0 kodiert, während eine Markierung in der letzten Spalte „hatte ich in den letzten 7 Tagen und ich litt darunter sehr stark“ als 5 kodiert wurde. Zur Beurteilung der Veränderung der Beschwerden durch die Kompressionstherapie wurden die Probanden gebeten, eine retrospektive Einschätzung ihrer Beschwerdesymptomatik in den letzten 7 Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie vorzunehmen. Anschließend sollte eine Bewertung der aktuellen Beschwerden der letzten 7 Tage mit Kompressionstherapie durchgeführt werden. Um eine Auswertung zu ermöglichen, wurden die Änderung der Beschwerden der jeweiligen Probanden (nach - vor Kompressionstherapie) berechnet und gemittelt. Für die Auswertung diente das 95% Konfidenzintervall als Maß für die statistische Signifikanz der einzelnen Parameter.

Angaben zur subjektiven Einschränkung durch die Beschwerden und zu Gesundheitszustand und Lebensqualität wurden über die Markierung auf einer visuellen Analogskala mit positivem und negativem Pol erhoben. Zur Auswertung wurde die Strecke vom Beginn der Skala zur Markierung gemessen. Für die statistische Berechnung wurden Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle gebildet.

Die Beurteilung des Medizinischen Kompressionsstrumpfes erfolgte anhand einer 5-stufigen ordinalen Skala. Anhand dieser Skala wurden verschiedene Kategorien abgefragt, die von den Probanden mit „gar nicht“, „etwas“, „ziemlich“, „stark“ und „sehr stark“ bewertet wurden. Für die Auswertung der Daten wurden für diese Nennungen Punkte vergeben, wobei „gar nicht“ 1 Punkt und „sehr stark“ 5 Punkten entsprach. Anschließend wurde die weitere Auswertung der Daten, getrennt nach Alltag und Training, über die Berechnung des Median und der 25% bzw. 75% Quartile durchgeführt.

Für die Ermittlung der Häufigkeit des Tragens der Medizinischen Kompressionsstrümpfe und der Zufriedenheit mit der Behandlung wurden ebenso 5-stufige Ordinalskalen verwendet, welche jedoch entsprechend modifiziert wurden. So wurde die Häufigkeit des Tragens anhand der 5 Stufen „immer“, „häufig“, „regelmässig“, „selten“ und „nie“ abgefragt. Bei der Zufriedenheit wurde die Abstufung mit „gar nicht“, „etwas“, „mäßig“, „ziemlich“ und „sehr“ vorgenommen. Die Auswertung und Berechnung wurde wieder über die Median-Ermittlung und die 25% bzw. 75% Quartile durchgeführt.

### **3.2.7 Untersuchungsbedingungen**

Die phlebologischen Untersuchungen wurden von qualifizierten Untersuchern in den Räumen der angiologischen Ambulanz der Universitätshautklinik Tübingen durchgeführt. Damit waren gleichbleibende Untersuchungsbedingungen bezüglich Ablauf der Untersuchung, Räumen, Ausstattung, Geräten und Temperatur für alle Probanden gegeben.

### **3.2.8 Mehrstufentest**

Der Mehrstufentest wurde im Rahmen dieser Arbeit zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit eingesetzt.

#### **Biophysikalische Grundlagen**

Zu Ermittlung der allgemeinen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit wird ein Mehrstufentest mit Registrierung von Herzfrequenz und Laktatwerten auf bestimmten Belastungsstufen durchgeführt. Die aerobe Ausdauerleistung kann als Summe des Zusammenwirkens von verschiedenen Einzelsystemen gesehen werden. Diese Einzelsysteme sind gekennzeichnet durch Mitwirken am Sauerstofftransport (Atmung, Herz, Kreislauf) sowie durch zelluläre Prozesse (Enzymaktivität, Substratbereitstellung). Werden nun Einzelsysteme während einer Belastung registriert, lässt sich daraus ein Rückschluss auf die allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ziehen (de Mareés, 2002). Als Parameter des Herz-Kreislaufsystems wurde die Herzfrequenz gewählt. Mithilfe eines 3 Kanal EKGs ist ein kontinuierliches Monitoring der Herzfrequenz während der Belastung möglich und es lassen sich die meisten Erregungsrückbildungsstörungen beobachten (Platen, 2001). Ein weiterer gemessener Parameter war die Laktatkonzentration des Blutes, das als Produkt des anaeroben Stoffwechsels Anhaltspunkt für die metabolische Situation ist. Aus der Analyse von Laktatkonzentrationen kann auf die Anteile des aeroben und anaeroben Stoffwechsel an der Leistung geschlossen werden.

#### **Ablauf der Untersuchung bei Läufern**

Die Leistungstests wurden unter standardisierten Bedingungen nach der Leitlinie zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin (Boldt et al., 2002) durchgeführt. Im Belastungsraum waren die technischen Diagnostikgeräte, eine Untersuchungsliege sowie eine Notfallausrüstung vorhanden. Mit 22 °C war eine konstante Raumtemperatur gegeben. In der etwa 15-minütigen Ruhephase vor Belastung wurde dem Probanden ein 3 Kanal EKG mit den Ableitungen V2, V4, V6, R, L, N, F angelegt und Finalgon® Salbe auf das Ohrläppchen aufgetragen. Nach ausreichender Einwirkzeit wurde aus dem nun

hyperämisierten Ohrläppchen 20 µl kapillär-arterielles Blut in eine heparinisierte Mikrokapillare gefüllt und diese in ein mit 1000 µl Systemlösung gefülltes Safe Lock Gefäß gegeben. Währenddessen wurde ein EKG mit 50 mm/sec Papiervorschub ausgegeben sowie der Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen und dokumentiert.

Nach Abschluss der Vorbereitungen wurde der Belastungstest bei einer 1%igen Laufbandsteigung mit 6 km/h (1,67 m/sec) für 3 Minuten begonnen. Nach 60 sec, 120 sec und 165 sec wurde ein EKG mit 50 mm/sec Papiervorschub ausgegeben. Nach 180 sec wurde das Laufband angehalten und es erfolgte eine erneute Blutabnahme zur Laktatbestimmung. Um die Beeinflussung des Probanden durch die Unterbrechung so gering wie möglich zu halten, wurde eine Unterbrechungsdauer von <30 sec angestrebt, wie von de Marées (de Mareés, 2002) empfohlen wird. Für die nächsten Belastungsstufen wurde die Geschwindigkeit jeweils um 2 km/h (0,56 m/sec) erhöht.

Der Abbruch der Belastung erfolgte bei einem subjektiven Leistungsmaximum des Probanden, solange keine anderen Abbruchkriterien erfüllt wurden. Ein Abbruch konnte auf jeder Stufe erfolgen, empfohlen wurde eine Belastungsstufe komplett abzuschliessen (3 Minuten). Zu Beginn jeder Belastungsstufe sollte jedoch mindestens eine Minute lang gelaufen worden sein. Ein vorzeitiger Abbruch wurde bei Beschwerden des Herz-Kreislaufsystems wie Brustschmerzen, Atemnot, Zyanose, atypisches Blutdruckverhalten, Kopfschmerz und Schwindel sowie signifikante Veränderungen des Elektrokardiogramms (de Mareés, 2002; Platen, 2001) vorgenommen.

An das Ende der Belastung schloss sich eine 5 Minuten dauernde Nachphase der Belastung an, während der es den Probanden freigestellt war, bei einer Geschwindigkeit von 6–8 km/h (1,67 m/s – 2,22 m/s) locker auszulaufen, wie es in den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin empfohlen wird.

Sofort nach Abbruch der Belastung wurde nochmals kapilläres Blut zur Laktatbestimmung abgenommen. Während der ersten Minute nach Belastungsende wurde ein EKG-Rhythmusstreifen mit 5 mm/sec Vorschub aufgezeichnet. Daran schloss sich eine EKG-Ausgabe mit 50 mm/sec Papiervorschub an. 3 Minuten nach Abbruch wurde erneut das EKG registriert,

der Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen und eine Laktatbestimmung durchgeführt. Nach 5 Minuten wurde die Belastungsuntersuchung mit einer Herzfrequenzmessung beendet. Auf einem Dokumentationsbogen wurde das Datum der Untersuchung, Geburtsdatum, Größe und Gewicht des Probanden sowie Art, Anfangsgeschwindigkeit, Inkrement, Stufendauer, Abbruchzeit und – grund der Messung notiert. Direkt im Anschluss an die Messung wurden die Laktatwerte bestimmt und zusammen mit der Herzfrequenz mithilfe der Software „ergonizer®“ ausgewertet. Ein Beispiel der Ergebnisse ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Die Ergebnisse wurden den Probanden direkt mitgeteilt und ausführlich erläutert.

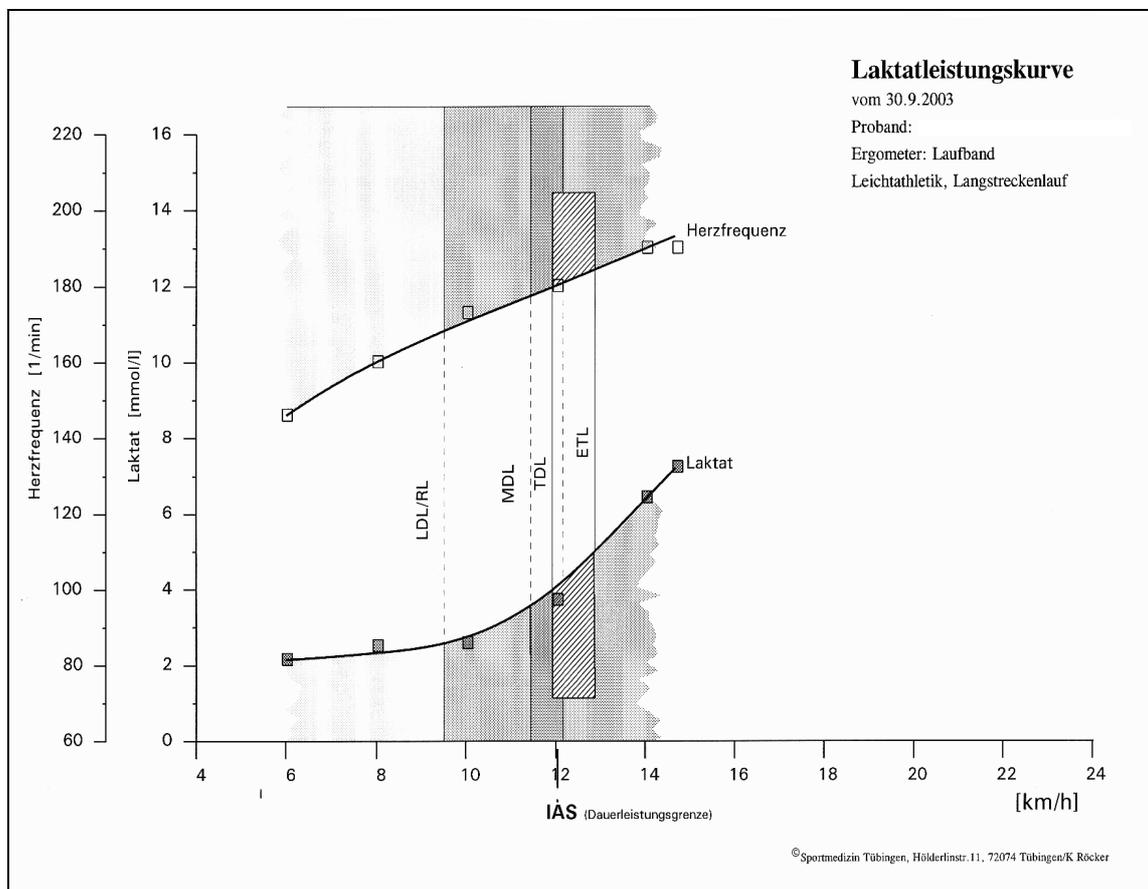


Abbildung 3-3 Laktatleistungskurve eines Läufers, erstellt mit der Software ergonizer® Version 2.2.3

(IAS = individuelle anaerobe Schwelle; LDL = langer Dauerlauf; MDL = mittlerer Dauerlauf; TDL = Tempodauerlauf; ETL = extensive Tempoläufe)

### 3.2.9 Hersteller

#### Laufbandergometer

Der Mehrstufentest bei Läufern wurde auf einem Laufbandergometer der Marke „Saturn“ (HP Cosmos, Nussdorf-Traunstein) durchgeführt. Dieser Laufbandergometer entspricht der DIN 32933, Teil 1 und besteht aus einem Endloslaufband mit 2 Rollen. Die Geschwindigkeit ist zwischen 1,0 und 50,0 km/h variierbar und der Steigungswinkel von 0 % bis 25 % frei einstellbar.

#### Elektrokardiograph

Die Registrierung des EKGs während der Belastung wurde mit dem handelsüblichen „Cardiosmart ST“, Version 1,3 (GE Marquette Hellige Medical Systems, Freiburg) durchgeführt (Abbildung 3-4). Die Dokumentation erfolgte durch Thermo-Punktdruckverfahren auf thermoreaktivem Papier derselben Firma.



Abbildung 3-4 EKG „Cardiosmart ST“, Version 1,3 (GE Marquette Hellige Medical Systems)

## Laktatmessgerät

Die Bestimmung der Laktatkonzentration im Vollblut wurde von uns mit dem System „Ebio® plus“ (Eppendorf, Wesseling-Berzdorf) durchgeführt (Abbildung 3-5). Dieses System arbeitet nach der enzymatisch-amperometrischen Messmethode. Hierbei wird auf einer Membran aktivierte Laktatoxidase (LOD) immobilisiert. Nun lässt sich durch die Katalyse der Oxidation von Laktat zu Pyruvat (I) durch LOD



und der Oxidation des dabei entstehenden  $\text{H}_2\text{O}_2$  bei +600 mV an einer Platinelektrode (II) eine Strom-Zeit-Kurve ermitteln.



Die maximale Steigung der Strom-Zeit-Kurve ist dabei der Laktatkonzentration der Probe proportional. Gemessen werden kann in einem Bereich von 0.5 – 30 mmol/l Laktat. Die Unpräzision beträgt <1,5 % bei 2 mmol/l und die Verschleppung <1,5 % nach Broughton. Die Stabilität (Drift) wird mit <3 % bezogen auf 12 mmol/l und 60 Proben angegeben (25). Die Gewinnung des Vollblutes aus dem hyperämisierten Ohrläppchen erfolgt mithilfe von Mikropipetten der Firma Marienfeld GmbH, Lauda-Königshofen, Deutschland. Hierbei handelt es sich um Natrium-heparinisierte Kapillaren mit einem End-zu-End-Volumen von 20 µl ( $R \leq 0,5 \%$  und  $CV \leq 0,6 \%$ ), Durch Einbringen der gefüllten Kapillare in ein mit 1000 µl Systemlösung gefülltes 2 ml fassendes Safe Lock Cup der Firma Marienfeld GmbH, Lauda-Königshofen, Deutschland wird die Probe auf 1:50 verdünnt und dann analysiert,



Abbildung 3-5 Laktatmessgerät „Ebio® plus“ (Eppendorf)

### **Software**

Die Auswertung der gemessenen Werte wurde mithilfe der Software „ergonizer®“ von PD Dr. K. Röcker (Medizinische Klinik, Universität Freiburg) durchgeführt. Nach Eingabe von persönlichen Daten der Probanden, Laktatkonzentrationen und Herzfrequenzen in Abhängigkeit der jeweiligen Belastungsstufe wird eine automatische untersucherunabhängige Berechnung und Auswertung von aerober Schwelle (AS) bzw. lactate threshold (LT) und individueller anaerober Schwelle (IAS) durchgeführt (31). Die individuelle anaerobe Schwelle ist definiert als die Laktatkonzentration, die 1,5 mmol/l über dem Punkt des ersten Anstiegs über den Basislaktatwert liegt, der in Ruhe vor Belastung gemessen wurde (Dickhuth, 2000). Eine Beispielkurve ist in Abbildung 3-3 zu finden.

### **Aussagefähigkeit der Methode**

Die Bestimmung der Laktatwerte in Abhängigkeit zur Herzfrequenz bei Belastung ist zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eine reliable Methode (Pfitzinger et al., 1998) und wird in der sportmedizinischen Routinediagnostik angewandt. Auch das Konzept der Leistungsdiagnostik mithilfe der IAS ist objektiv, validiert und bestätigt (Röcker et al., 1995, 1998; Coen et al., 2001). Die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse ist gut (Dickhuth et al., 1999).

Wichtig für die Interpretation und Vergleichbarkeit der Ergebnisse eines Mehrstufenstests ist die Einhaltung eines Belastungsprotokolls mit definierter Stufendauer und Inkrement, einem gleichen Abnahmeort (Robergs et al., 1990) und –art der Probe sowie standardisierten Bedingungen der Messung (Röcker et al., 2001).

Störfaktoren bei der Leistungsdiagnostik sind Ernährungsgewohnheiten sowie Wettkampfbelastungen vor der Untersuchung (de Mareés, 2002). Um diese zu minimieren, wurden die Probanden angehalten, jeweils vor Belastung keine Wettkämpfe zu bestreiten und ihre Ernährung umzustellen. Um nicht den Einfluss von zirkadianen Leistungsschwankungen abzubilden, wurden die Vergleichsuntersuchung möglichst zur selben Tageszeit wie die Erstbelastung durchgeführt.

### 3.2.10 Statistik

Die statistischen Berechnungen wurden mithilfe der Software JMP™ Version 4.0 der Firma SAS Institute, Cary, USA durchgeführt. Die Diagramme und Tabellen wurden mit den Programmen Microsoft® Excel 2000 und Microsoft® Word 2000 erstellt.

Die Daten der phlebologischen Untersuchung wurden rein deskriptiv behandelt. Für die venösen Wiederauffüllzeiten  $T_0$  wurden arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen (standard deviation (SD)) berechnet. Der arithmetische Mittelwert ist festgelegt als die Summe der Ergebnisse dividiert durch die Anzahl der Ergebnisse. Die Standardabweichung ist definiert als die Wurzel aus der quadrierten Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert dividiert durch die Anzahl der Ergebnisse minus 1 (Rau et al., 1995).

Von den Daten der leistungsdiagnostischen Untersuchungen wurden die mittleren Differenzen der Parameter zweier Belastungen jedes Probanden ausgewertet, sowie die dazugehörigen 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Dabei wurden die Werte der Belastungsuntersuchung mit Medizinischen Kompressionsstrümpfen von denen der Belastung ohne MKS abgezogen. Das Konfidenzintervall beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein zufällig gewählter Wert der Ergebnisse innerhalb dieses definierten Intervalls liegt. Ein 95%-Konfidenzintervall bedeutet also, dass 95% der Werte in diesem Bereich liegen. Im Umkehrschluss lässt sich folgern, dass eine 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, vorliegt, d.h. in 5% der Fälle liegt der Wert außerhalb des Wertebereichs des Konfidenzintervalls (Harms, 1998).

Im Ein-Stichproben-t-Test wurde die zuvor definierte Nullhypothese überprüft. In diesem Verfahren wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass das Ergebnis zufällig zustande gekommen ist und nicht im Zusammenhang mit der aufgestellten Hypothese steht (Feinstein, 2002). Die Irrtumswahrscheinlichkeit wird dabei als p-Wert angegeben. Als Signifikanzniveau wurde ein  $p < 0,05$  definiert. Wird nun eine Nullhypothese mit einem  $p < 0,05$  verworfen, so ist die Wahrscheinlichkeit 95%, dass eine Veränderung der mittleren Differenzen nicht zufällig ist. Voraussetzung für diese Berechnung ist eine Normalverteilung der Werte (Harms, 1998). In dieser Arbeit wurde die Nullhypothese aufgestellt, dass

durch eine Kompressionstherapie keine Veränderung der Leistungsfähigkeit erfolgt.

Mithilfe einer ANCOVA (analysis of covariance) wurde auch eine eventuelle Beeinflussung einer Veränderung der Leistungsfähigkeit bzw. der mittleren Differenzen der gemessenen Parameter von der venösen Funktion, dargestellt durch die venöse Wiederauffüllzeit  $T_0$ , berechnet. Mithilfe einer ANCOVA lässt sich berechnen, ob eine Störvariable einen Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse hat. Dadurch lässt sich beispielsweise ein vorbestehender Unterschied in bestimmten Voraussetzungen bei 2 Teilgruppen feststellen. Die ANCOVA basiert auf einer ANOVA (analysis of variance), bei der die mittlere Abweichung der Gesamtgruppe mit der mittleren Abweichung in einer Teilgruppe verglichen wird. Bei der ANCOVA wird zusätzlich noch eine Berechnung der linearen Regression durchgeführt, die eine eventuelle Abhängigkeit von Variablen untereinander offensichtlich macht (Feinstein, 2002).

Die mithilfe des Fragebogens erhobenen Daten wurden mit entsprechend des Skalenniveaus möglichen Berechnungen ausgewertet. Aus den Angaben im Fragebogen zu subjektiven Beschwerden der Probanden wurden Differenzen gebildet und daraus wie auch aus den Angaben zu Gesundheitszustand und Lebensqualität Mittelwerte sowie 95%-Konfidenzintervalle errechnet. Als statistisch signifikant wurde eine mittlere Differenz gewertet, in deren 95%-Konfidenzintervall die 0 nicht eingeschlossen ist. Bei den Daten, die auf einer ordinalen Skala erhoben wurden, wie Angaben zu Training, der Beurteilung des MKS und der Zufriedenheit wurde jeweils der Median gebildet und der Quartilsabstand angegeben. Der Median ist definiert als der Wert, der von höchstens 50% der Werte über- oder unterschritten wird. Der Quartilsabstand liegt zwischen dem 25. und 75. Perzentil und beinhaltet den Bereich mit den mittleren 50% der Werte (Harms, 1998). Die Angaben zur Häufigkeit des Tragens der MKS wurden deskriptiv dargestellt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Probanden

Es nahmen 24 Probanden (13 Männer, 11 Frauen) an der Studie teil. Im Verlauf der Studie schieden 4 Probanden aufgrund privater Gründe noch vor Ablauf aller Untersuchungen aus. Die bis zum Zeitpunkt des Ausscheidens erhobenen Daten konnten teilweise in der Studiauswertung berücksichtigt werden. Insgesamt schlossen 20 Läufer die Studie komplett ab. Das Durchschnittsalter lag bei 41,2 Jahren bei einer Standardabweichung von 7,2 Jahren. Die durchschnittliche, wöchentliche Lauftrainingsstrecke der Probanden betrug 53,3 km (SD 19,1 km, Range 25 – 90 km). Die Probanden befanden sich hinsichtlich der venösen Situation alle in den klinischen Stadien C(2-4), E(C, P, S), A(S, P), P(R).

Bei der Einstufung des klinischen Bildes (C) wurde das Stadium C2 definiert über die sicht- oder tastbare Varikosis, C3 über das begleitende Ödem und C4 über die Zeichen einer Stauungsdermatose wie Hyperpigmentation, Dematoliposklerose, Atrophie blanche oder Induration. In Abbildung 4-1 ist die Verteilung der Probanden hinsichtlich der CEAP-Klassifikation dargestellt. 15 Probanden befanden sich im Stadium C2, 7 Probanden im Stadium C3 und 2 Probanden im Stadium C4. Die Ätiologie (E) der venösen Insuffizienz war bei 21 Probanden primär (E(P)), bei 2 Probanden sekundär (E(S)) und bei 1 Probanden kongenital (E(C)). Hinsichtlich der anatomischen Verteilung der Venendefekte (A) wurde bei 5 Probanden ein Defekt im Bereich der superfiziellen Venen (A(S)) festgestellt. Bei den übrigen 19 Probanden handelte es sich um einen kombinierten Defekt der superfiziellen Venen sowie der Vv. perforantes (A(P)). Pathophysiologisch (P) wurde bei allen 24 Probanden hinsichtlich der Hämodynamik ein Reflux (P(R)) diagnostiziert, Obliterationen (P(O)) wurden nicht detektiert. Mithilfe der Farbkodierten Duplexsonographie wurden die Stadien der venösen Insuffizienzen gemessen und dokumentiert (Abbildung 4-2). Die Einteilung erfolgte nach der Klassifikation nach Hach. Die Lokalisation der venösen Insuffizienz war bei 9 Probanden allein auf der rechten Seite, bei 2 Probanden links und bei 13 Probanden waren beide Beine betroffen.

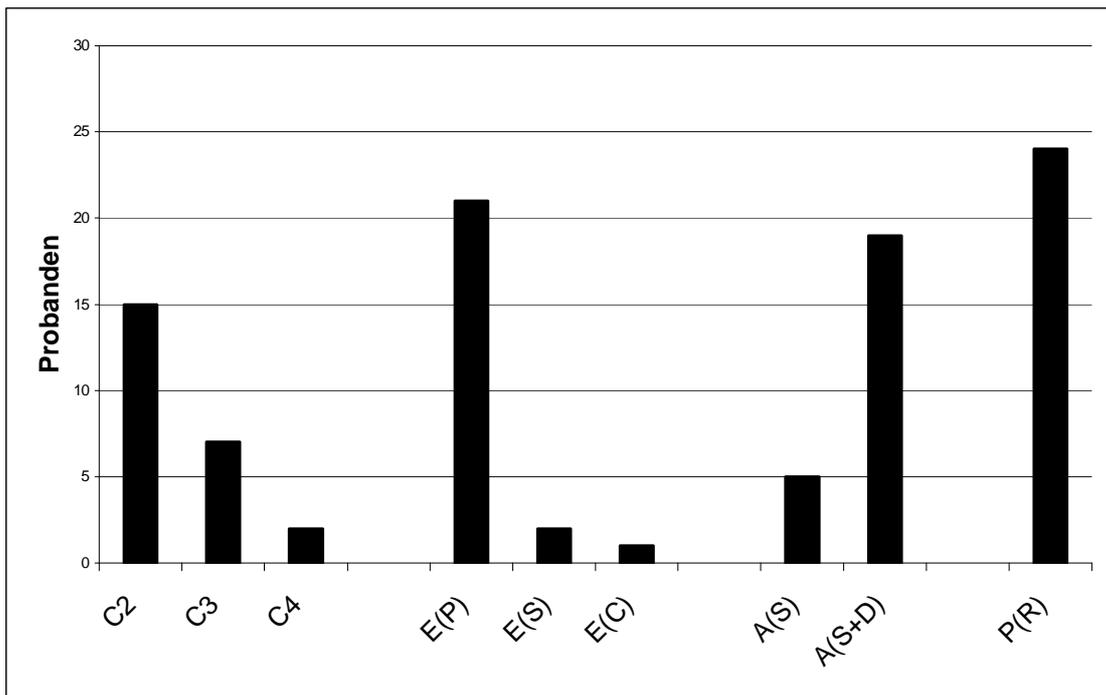


Abbildung 4-1 Klassifikation der venösen Insuffizienzen der Studienteilnehmer, Einteilung anhand der CEAP-Klassifikation

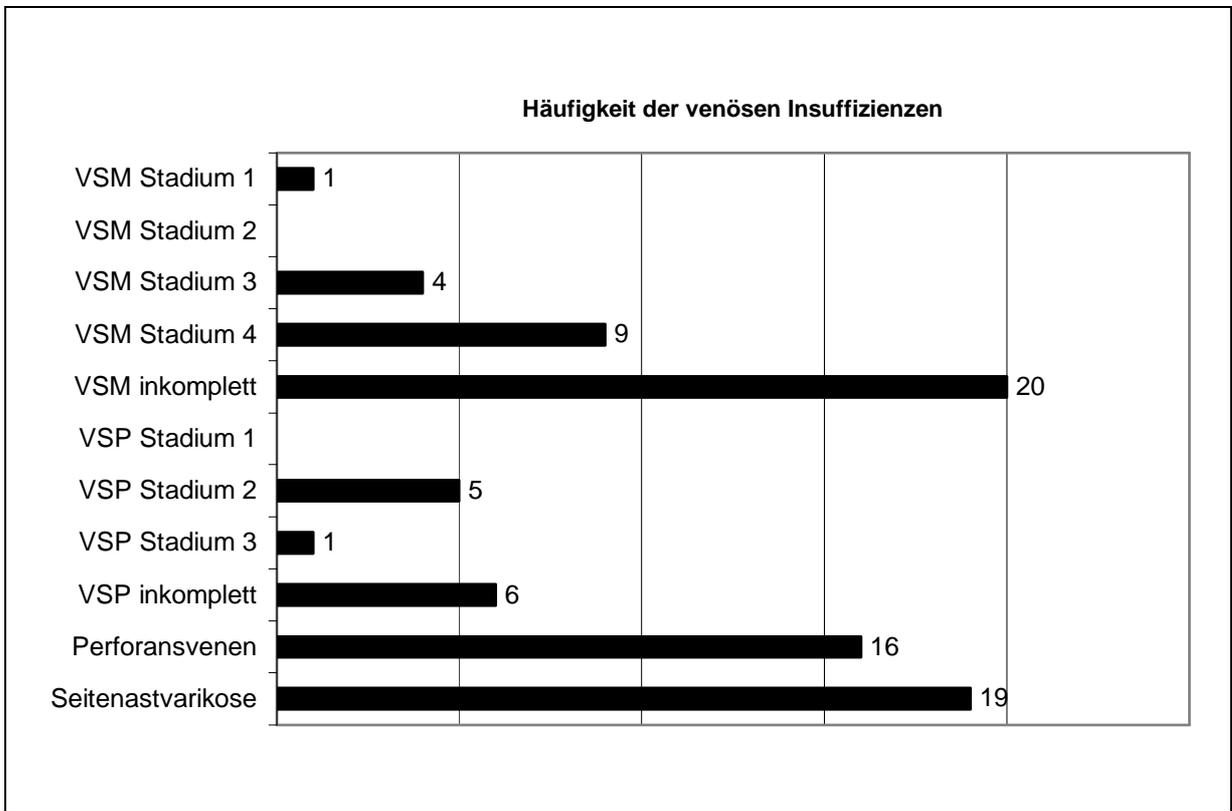


Abbildung 4-2 Verteilung der venösen Insuffizienzen, Einteilung nach Hach

In der speziellen Anamnese bezüglich der CVI wurde von 7 Probanden ein geringer Schmerz angegeben, bei 17 Probanden fehlte dieser. Über ein mäßiges Spannungsgefühl berichteten 10 Probanden, während 14 Probanden dies nicht empfanden. 16 Probanden war ein leichtes Ödem aufgefallen, bei 8 Probanden war die Anamnese diesbezüglich negativ. Eine Vorbehandlung bezüglich der venösen Insuffizienz hatten 15 Probanden. 3 Probanden arbeiteten in einem stehenden Beruf. In der Familienanamnese wurde von 18 Probanden über eine Varikosis in der Familie berichtet. Davon war wiederum 4 Probanden ein Ulkus cruris bekannt. Eine tiefe Beinvenenthrombose kam familiär bei 4 Probanden vor und eine operative Therapie wurde in der Familie von 15 Probanden durchgeführt.

Im DPPG wurden die venösen Parameter an beiden Beinen erhoben (Abbildung 4-3). Als besonders relevanter Parameter für die Diagnostik des Ausmaßes der CVI wurde die Wiederauffüllzeit  $T_0$  angesehen. Die mittlere Wiederauffüllzeit  $T_0$  an den Beinen aller Probanden betrug 33,4 sec (SD 12,6 sec). Fasst man nun die pathologisch kurzen Wiederauffüllzeiten an einem Bein ( $T_0 < 25$  sec) zusammen, so ergibt sich ein Mittel von 17,3 sec (SD 5,1 sec). Nach Anlage eines Tourniquets an diesen Beinen unterhalb der Leiste erhöht sich die mittlere Wiederauffüllzeit  $T_0$  auf 19,0 sec (SD 8,2 sec). Die mittlere Wiederauffüllzeit  $T_0$  nach Anlage eines zweiten Tourniquets unterhalb des Knies wird mit 29,2 sec (SD 13,0 sec) berechnet und befindet sich damit im physiologischen Bereich (Abbildung 4-4).

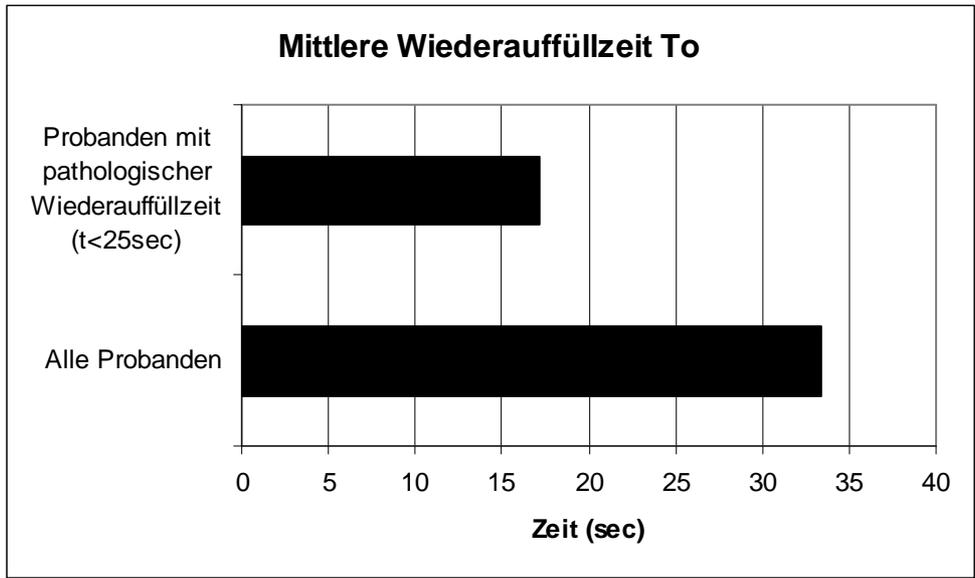


Abbildung 4-3 Mittlere Wiederauffüllzeit T<sub>0</sub> aller Beine der Probanden und der Beine der Probanden mit pathologisch verkürzter T<sub>0</sub> < 25 sec.

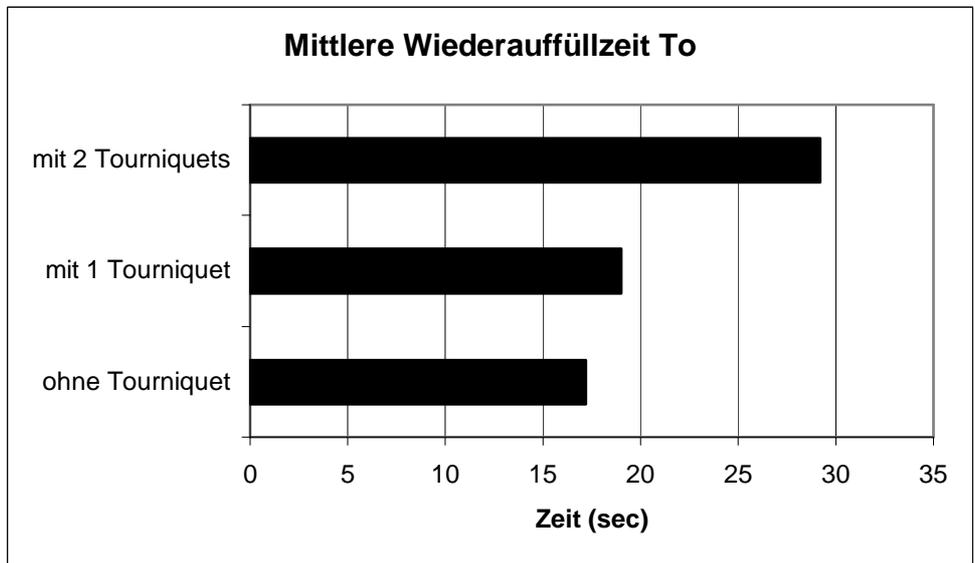


Abbildung 4-4 Veränderung der mittleren Wiederauffüllzeit T<sub>0</sub> der Beine der Probanden mit pathologisch verkürzter T<sub>0</sub> < 25 sec nach Anlage von Tourniquets

## 4.2 Leistungsdiagnostik

### 4.2.1 Akuteffekte der Kompressionstherapie auf Herzfrequenz und Laktat Spiegel

Um den Akuteffekt einer Kompressionstherapie zu messen, wurden die ersten beiden Messungen mit bzw. ohne MKS im Abstand von 1 Woche bezüglich Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Laktat an der aeroben und individuellen anaeroben Schwelle verglichen (Abbildung 4-5).

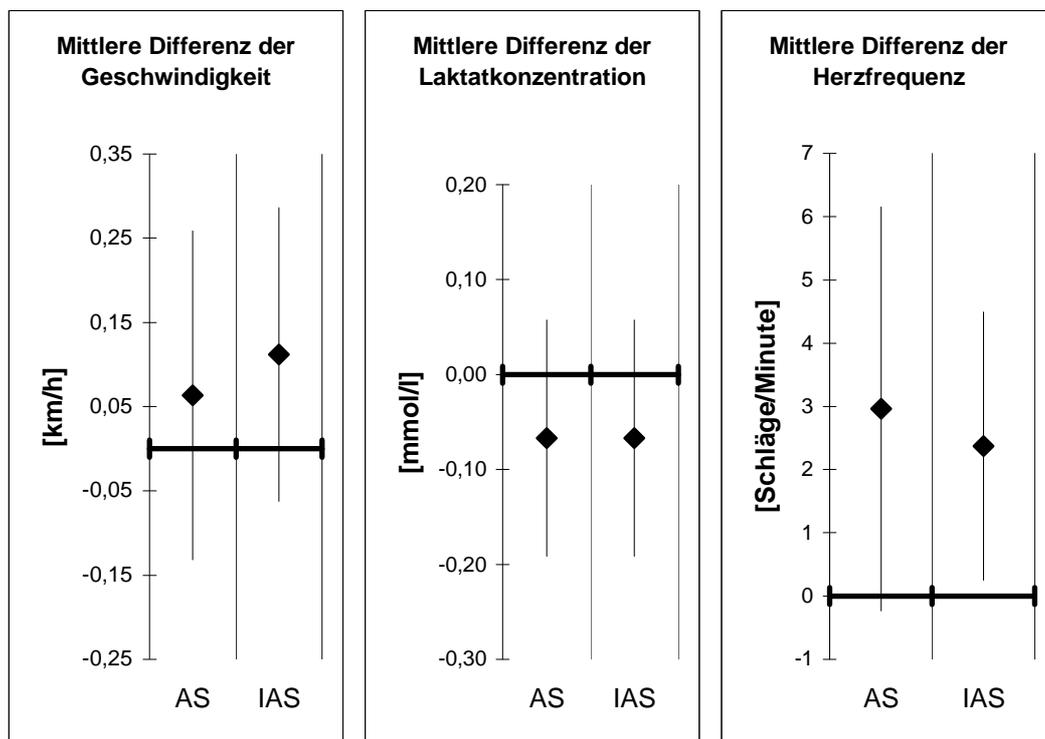


Abbildung 4-5 Mittlere Differenzen von 2 Belastungsuntersuchungen, Durchführung ohne und mit medizinischen Kompressionsstrümpfen im Abstand von 1 Woche

Die Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle zeigte sich in der Messung ohne Kompressionsstrumpf gegenüber der Messung mit Kompressionsstrumpf im Mittel um 0,06 km/h erhöht, die Laktatkonzentration um -0,07 mmol/l erniedrigt und die Herzfrequenz um 3 Schläge/min gesteigert, Keine dieser Differenzen zeigte eine Signifikanz im 1-Stichproben t-test (Tabelle 4-1),

Im Vergleich der Messwerte an der anaeroben Schwelle (IAS) ergibt sich im Mittelwert der Messungen ohne Kompression gegen die Messungen mit Kompressionstrumpf eine Zunahme der Geschwindigkeit um 0,11 km/h bei gleichzeitiger Abnahme des Laktats um -0,07 mmol/l und einer Zunahme der Herzfrequenz um 2,38 Schläge/Minute, Signifikant ist die Zunahme der Herzfrequenz (95% Konfidenzintervall von 4,50 bis 0,26,  $p=0,03$  (1-Stichproben t-test)), alle anderen Werte ergeben kein signifikanten Unterschiede,

Mit einer ANCOVA (Analysis of Covariance) wurde zusätzlich untersucht, ob die Differenz von Geschwindigkeit, Laktatkonzentration und Herzfrequenz mit und ohne Strumpf von der Wiederauffüllzeit  $T_0$  (als kontinuierlicher Faktor berücksichtigt) abhängt, Dabei ergaben sich keine signifikanten Ergebnisse, entsprechend einem  $p<0,05$ ,

	DIFFERENZ (OHNE – MIT KOMPRESSION)	95%- KONFIDENZ- INTERVALL		P-WERT 1-STICHPROBEN T-TEST
		<i>oberer Grenzwert</i>	<i>unterer Grenzwert</i>	
Geschwindigkeit (AS) [km/h]	0,06	0,26	-0,13	$p=0,51$
Laktatkonzentration (AS) [mmol/l]	-0,07	0,06	-0,19	$p=0,28$
Herzfrequenz (AS) [1/min]	2,96	6,15	-0,24	$p=0,07$
Geschwindigkeit (IAS) [km/h]	0,11	0,29	-0,06	$p=0,20$
Laktatkonzentration (IAS) [mmol/l]	-0,07	0,06	-0,19	$p=0,28$
Herzfrequenz (IAS) [1/min]	2,38	4,50	0,26	$p=0,03$

Tabelle 4-1 Mittlere Differenzen von 2 Belastungsuntersuchungen, Durchführung ohne und mit medizinischen Kompressionsstrümpfen im Abstand von 1 Woche

#### 4.2.2 Langzeiteffekt der Kompressionstherapie auf Herzfrequenz und Laktat Spiegel

Zur Beurteilung des Langzeiteffekts der Kompressionstherapie wurde die Differenz der ersten Messung ohne Strumpf und der dritten Messung mit Strumpf nach 4-wöchiger Kompressionstherapie berechnet. Dabei wurden die Mittelwerte der Differenzen ermittelt und in untenstehenden Diagrammen dargestellt. Positive Werte entsprechen dabei allgemein einer Verringerung der Messwerte nach Kompressionstherapie, negative Werte einer Vergrößerung der Messwerte (Abbildung 4-6).

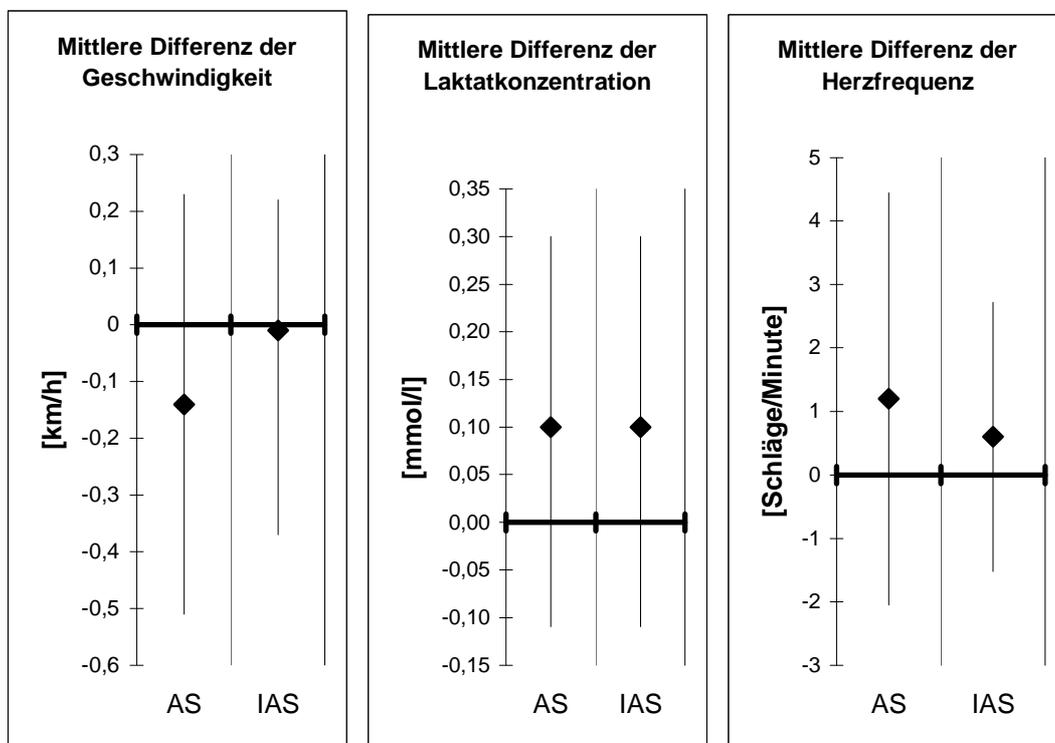


Abbildung 4-6 Mittlere Differenzen von 2 Belastungsuntersuchungen, Durchführung ohne MKS und nach einer Kompressionstherapie über 4 Wochen

Es zeigt sich an der aeroben Schwelle (AS) nach 4-wöchiger Kompressionstherapie eine tendenziell abnehmende Geschwindigkeit im Mittel um  $-0,14$  km/h, eine zunehmende Laktatkonzentration um  $0,1$  mmol/l und eine um  $1,2$  Schläge/Minute zunehmende Herzfrequenz. Statistisches Signifikanzniveau wird nicht erreicht (Tabelle 4-2).

Auch an der Individuellen Anaeroben Schwelle (IAS) ist im Mittel eine verringerte Geschwindigkeit um  $-0,07$  km/h bei um  $0,1$  mmol/l erhöhter Laktatkonzentration und um  $0,6$  Schläge/Minute erhöhter Herzfrequenz zu registrieren. Im 1-Stichproben t-test wurden keine statistische Signifikanzen berechnet.

Mit einer ANCOVA (Analysis of Covariance) wurde untersucht, ob die Differenz von Geschwindigkeit, Laktatkonzentration und Herzfrequenz mit und ohne Strumpf von der Wiederauffüllzeit  $T_0$  (als kontinuierlicher Faktor berücksichtigt) abhängt. Dabei ergaben sich keine signifikanten Ergebnisse, entsprechend einem  $p < 0,05$ .

	DIFFERENZ (OHNE – MIT KOMPRESSION)	95%- KONFIDENZ- INTERVALL		P-WERT 1-STICHPROBEN T-TEST
		<i>oberer Grenzwert</i>	<i>unterer Grenzwert</i>	
Geschwindigkeit (AS) [km/h]	-0,14	0,23	-0,51	p=0,43
Laktatkonzentration (AS) [mmol/l]	0,1	0,3	-0,11	p=0,35
Herzfrequenz (AS) [1/min]	1,2	4,45	-2,05	p=0,45
Geschwindigkeit (IAS) [km/h]	-0,01	0,22	-0,37	p=0,61
Laktatkonzentration (IAS) [mmol/l]	0,1	0,3	-0,11	p=0,35
Herzfrequenz (IAS) [1/min]	0,6	2,72	-1,52	p=0,56

Tabelle 4-2 Mittlere Differenzen von 2 Belastungsuntersuchungen, Durchführung ohne MKS und nach einer Kompressionstherapie über 4 Wochen

### 4.3 Auswertung des Fragebogen

#### 4.3.1 Veränderung der Beschwerden durch eine Kompressionstherapie über 4 Wochen

Auf einer 5-stufigen ordinalen Skala wurde von den Probanden eine Einschätzung der subjektiven Beschwerden bezüglich Häufigkeit, Intensität und Leidensdruck vorgenommen.

Eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse ist den Tabellen 4-3 und 4-4 zu entnehmen. Eine detaillierte Auswertung der einzelnen Beschwerden bzw. deren Veränderung folgt im Anschluss. Als statistisch signifikant unterschiedlich wurde ein Ergebnis gewertet, dessen 95%-Konfidenzintervall die 0 nicht mit einschließt.

SYMPTOM (im Alltag (A) und nach Training (T))		MITTLERE DIFFERENZ (mit – ohne MKS)	95% - KONFIDENZINTERVALL		HÄUFIGKEIT DER NENNUNG [%]	
			oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	vor Therapie	unter Therapie
müde Beine	A	-0,89	-0,34	-1,45	75	52,7
	T	-0,74	-0,29	-1,19	90	68,4
Spannungsgefühl	A	-0,89	-0,30	-1,48	73,7	42,1
	T	-1,11	-0,43	-2,1	89,5	40
Schweregefühl	A	-1,26	-0,43	-2,1	75	31,6
	T	-1,2	-0,56	-1,84	90	35
Brennen	A	-0,63	-0,09	-1,17	50	20
	T	-0,65	-0,14	-1,16	50	15
Stechen	A	-0,21	0,17	-0,59	35	25
	T	-0,4	-0,08	-0,71	40	15
Taubheitsgefühl	A	-0,17	0,14	-0,47	15,8	15,8
	T	0	0	0	21	15

Tabelle 4-3 Veränderungen der subjektiven Beschwerden im Alltag [A] und nach Training [T] durch die Therapie mit MKS. Darstellung der mittleren Differenzen (Werte „mit MKS“ minus Werte „ohne MKS“), 95%-Konfidenzintervalle und der relativen Häufigkeiten der Nennung. Negative mittlere Differenzen bedeuten eine Beschwerdereduktion. Statistisch signifikante Veränderungen sind grau hinterlegt.

SYMPTOM (im Alltag (A) und nach Training (T))		MITTLERE DIFFERENZ (mit – ohne MKS)	95% - KONFIDENZINTERVALL		HÄUFIGKEIT DER NENNUNG [%]	
			oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	vor Therapie	unter Therapie
Überempfindlichkeit bei Berührung	A	-0,26	0,13	-0,65	30	15,8
	T	-0,25	0,01	-0,51	30	10
Wärmegefühl	A	0	0	0	45	36,8
	T	-0,05	0,46	-0,56	50	45
Schmerzen beim Sitzen	A	-0,26	0,09	-0,62	30	15,8
	T	-0,21	0,05	-0,47	25	15,8
Schmerzen beim Auftreten	A	-0,16	0,08	-0,4	30	21,1
	T	-0,35	-0,04	-0,66	35	20
Schmerzen beim Liegen	A	-0,16	0,13	-0,45	20	10,5
	T	-0,2	0,04	-0,44	25	15
schlechter Schlaf	A	0,05	0,49	-0,39	20	21,1
	T	-0,2	0,25	-0,65	30	20
Schwellungen	A	-1,0	-0,49	-1,51	80	52,6
	T	-0,7	-0,32	-1,08	75	30
Steifigkeit in den Beingelenken	A	-0,37	-0,04	-0,7	35	20
	T	-0,4	-0,08	-0,72	35	10

Tabelle 4-4 Veränderungen der subjektiven Beschwerden im Alltag [A] und nach Training [T] durch die Therapie mit MKS. Darstellung der mittleren Differenzen (Werte „mit MKS“ minus Werte „ohne MKS“), 95%-Konfidenzintervalle und der relativen Häufigkeiten der Nennung. Negative mittlere Differenzen bedeuten eine Beschwerdereduktion. Statistisch signifikante Veränderungen sind grau hinterlegt.

Müdigkeit in den Beinen wurde von 75% der Probanden im Alltag bzw. 90% nach Training vor Beginn der Kompressionstherapie angegeben. Es zeigte sich eine Abnahme nach Kompressionstherapie auf 52,7% im Alltag und 68,4% nach Training. Die mittlere Abnahme der Müdigkeit nach Kompressionstherapie betrug im Alltag  $-0,89$  Punkte (95% Konfidenzintervall  $-0,34$  bis  $-1,45$ ) und nach Training  $-0,74$  Punkte (95%-KI  $-0,29$  bis  $-1,19$ ).

Über ein Spannungsgefühl in den Beinen berichteten 73,7% der Probanden im Alltag und 89,5% nach Training zu Beginn der Studie. Dies reduzierte sich nach Kompressionstherapie auf 42,1% im Alltag und 40% nach Training. Bezüglich der Ausprägung des Spannungsgefühls wurde eine Besserung durch Kompression im Alltag um  $-0,89$  Punkte (95%-KI  $-0,30$  bis  $-1,48$  Punkte) und im Training um  $-1,11$  Punkte (95%-KI  $-0,43$  bis  $-2,10$  Punkte) festgestellt.

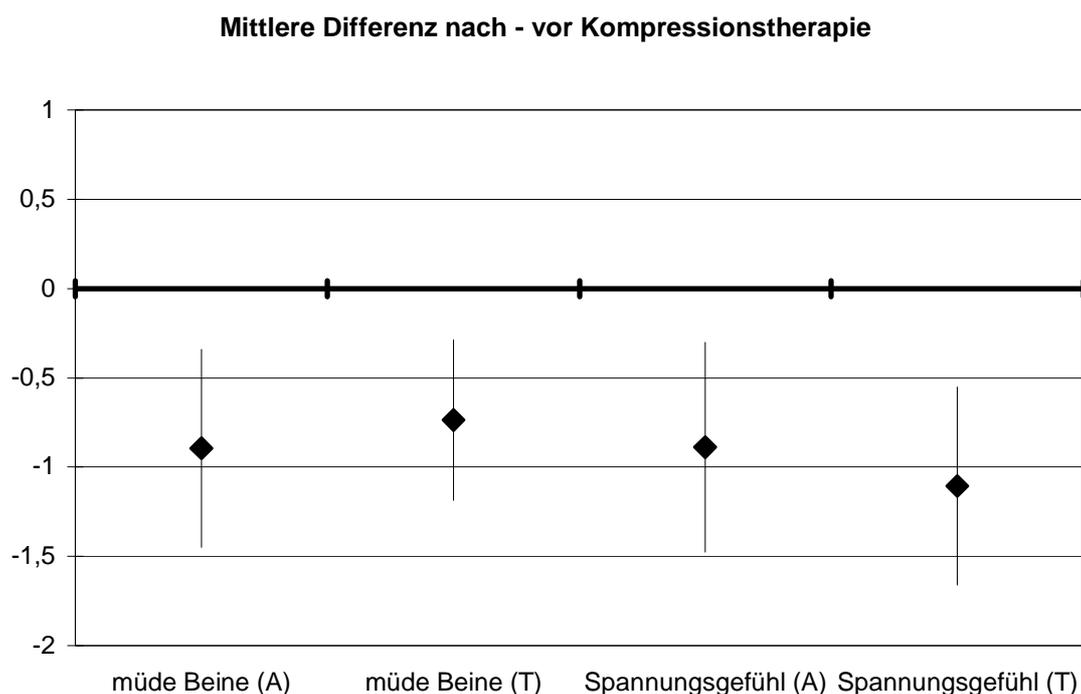


Abbildung 4-7 Müde Beine / Spannungsgefühl

75% der Probanden hatten vor Therapie im Alltag ein Schweregefühl der Beine, 90% nach Training. Nach konsequenter Kompressionstherapie zeigte sich eine Abnahme auf 31,6% im Alltag und 35% nach Training. In der Ausprägung des Schwerefühls zeigt sich eine signifikante Reduktion mit MKS im Alltag um -1,26 Punkte (95%-KI -0,43 bis -2,1 Punkte) und nach Training um -1,2 Punkte (95%-KI -0,56 bis -1,84 Punkte).

Brennen in den Beinen wurde von 50% im Alltag und nach Training berichtet. Nach Kompressionstherapie zeigte sich die Reduktion auf 20% im Alltag und 15% nach Training. Die Tendenz zur Besserung erreicht Signifikanzniveau bei einer mittleren Differenz im Alltag von -0,63 Punkten (95%-KI -0,09 bis -1,17 Punkte) und nach Training von -0,65 (95%-KI -0,14 bis -1,16 Punkte).

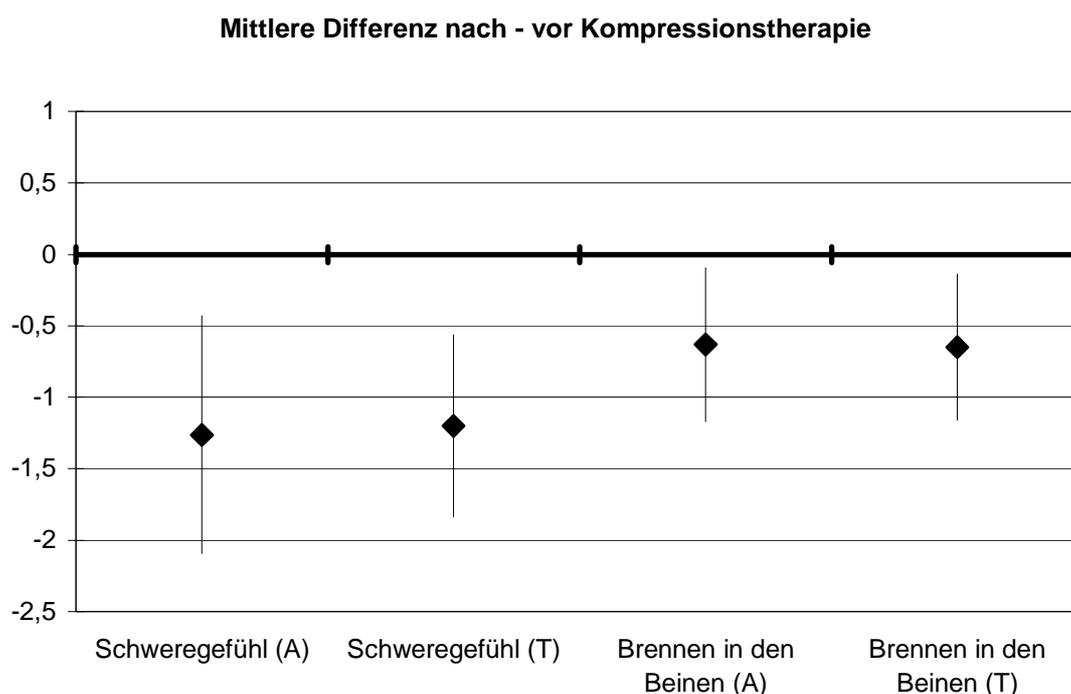


Abbildung 4-8 Schweregefühl / Brennen in den Beinen

Stechen in den Beinen wurde von 35% im Alltag und 40% nach Training angegeben. Es zeigte sich eine Reduktion auf 25% bzw. 15% nach 4-wöchiger Kompressionstherapie. Im Alltag wurde bezüglich der Ausprägung die mittlere Differenz mit  $-0,21$  Punkten (95%-KI  $0,17$  bis  $-0,59$  Punkte) berechnet. Nach Training zeigt sich ein Wert von  $-0,4$  Punkten (95%-KI  $-0,08$  bis  $-0,71$  Punkte). Taubheitsgefühle der Beine war bei 15,8% im Alltag bzw. 21% der Probanden nach Training zu beobachten. Nach Kompression blieb die Nennung der Taubheitsgefühle ähnlich häufig (15,8% im Alltag und 15% nach Training). Die mittlere Differenz der Taubheitsgefühle im Alltag betrug  $-0,17$  Punkte (95%-KI  $0,14$  bis  $-0,47$  Punkte), nach Training zeigte sich kein Unterschied.

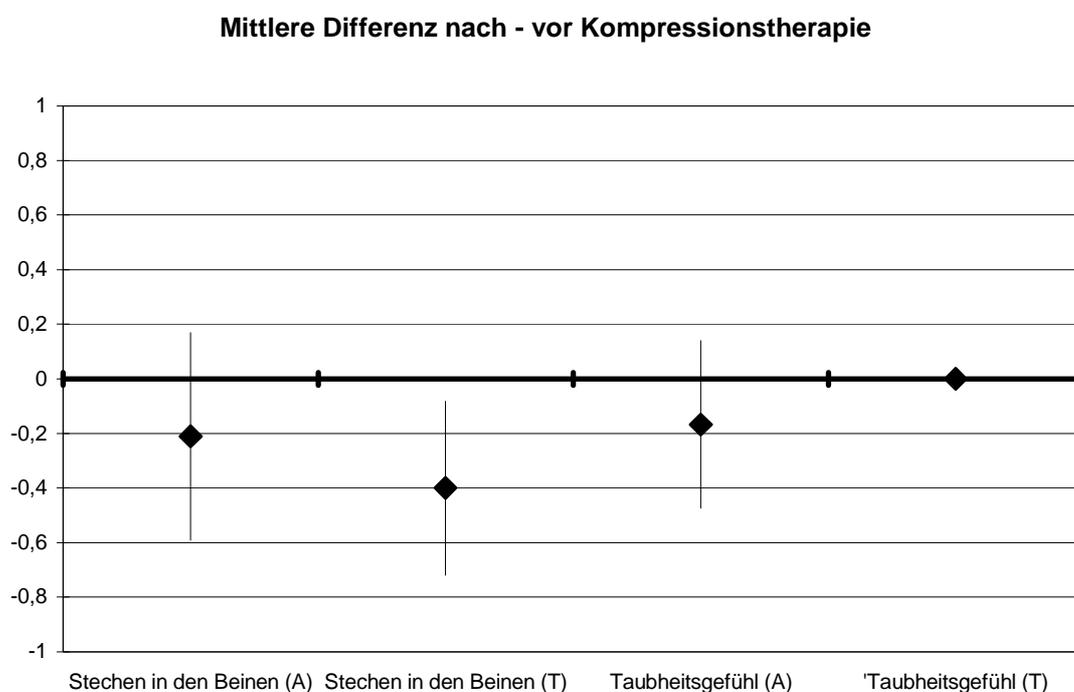


Abbildung 4-9 Stechen in den Beinen / Taubheitsgefühl

Überempfindlichkeiten der Beine waren bei 30% der Probanden zu beobachten. Nach Kompressionstherapie zeigte sich eine Abnahme der Angabe von Überempfindlichkeit auf 15,8% im Alltag und 10% im Training. Die Ausprägung der Überempfindlichkeit wurde durch die Kompression tendenziell verändert, im Alltag um  $-0,26$  Punkte (95%-KI  $0,13$  bis  $-0,65$  Punkte) und nach Training um  $-0,25$  Punkte (95%-KI  $0,01$  bis  $-0,51$ ). Es zeigt sich keine statistische Signifikanz.

45% der Probanden hatten im Alltag ein Wärmegefühl der Beine, 50% nach Training. Dies veränderte sich nach Kompressionstherapie kaum (Alltag 36,8% bzw. Training 45%). Im Alltag kam es zu keiner Änderung des Wärmegefühls nach Therapie, nach Training zu einer Minderung um durchschnittlich  $-0,05$  Punkte (95%-KI  $0,46$  bis  $-0,56$  Punkte).

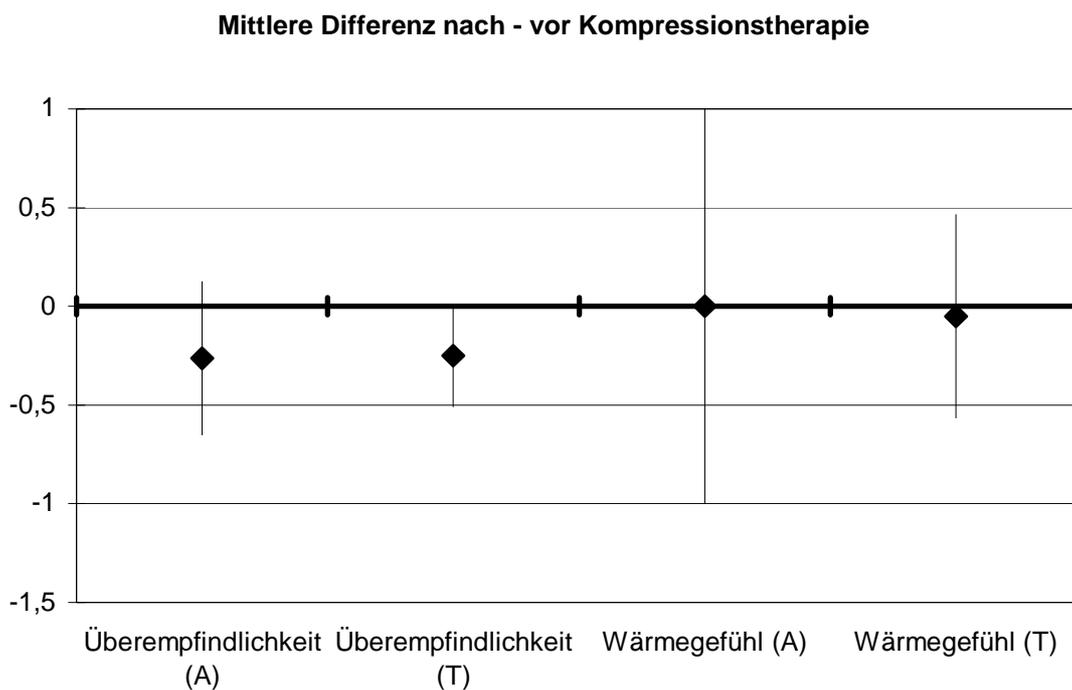


Abbildung 4-10 Überempfindlichkeit / Wärmegefühl

Über Schmerzen beim Sitzen klagten 30% der Probanden im Alltag und 25% nach Training. Nach Kompressionstherapie kam es zu geringerer Nennung, so dass im Alltag und nach Training jeweils 15,8% der Probanden Beschwerden angaben. Es zeigte sich eine Minderung um  $-0,26$  Punkte (95%-KI  $0,09$  bis  $-0,62$  Punkte) im Alltag und nach Training um  $-0,21$  Punkte (95%-KI  $0,05$  bis  $-0,47$  Punkte). 30% der Probanden waren im Alltag durch Schmerzen beim Auftreten behindert, nach Training waren dies 35%. Im weiteren Verlauf der Studie zeigte sich eine Abnahme der Angabe auf 21,1% bzw. 20%. Im Alltag wurde bezüglich der Ausprägung die mittlere Differenz mit  $-0,16$  Punkten (95%-KI  $0,08$  bis  $-0,4$  Punkte) berechnet. Nach Training zeigt sich ein Wert von  $-0,35$  Punkten (95%-KI  $-0,04$  bis  $-0,66$  Punkte). Auch im Liegen gab es bei 20% der Probanden im Alltag Schmerzen, nach Training waren dies 25%. Nach Versorgung mit MKS ließen sich diese auf 10,5% bzw. 15% reduzieren. Im Liegen zeigte sich eine Reduktion mit MKS im Alltag um  $-0,16$  Punkte (95%-KI  $0,13$  bis  $-0,45$  Punkte) und nach Training um  $-0,2$  Punkte (95%-KI  $0,04$  bis  $-0,44$  Punkte).

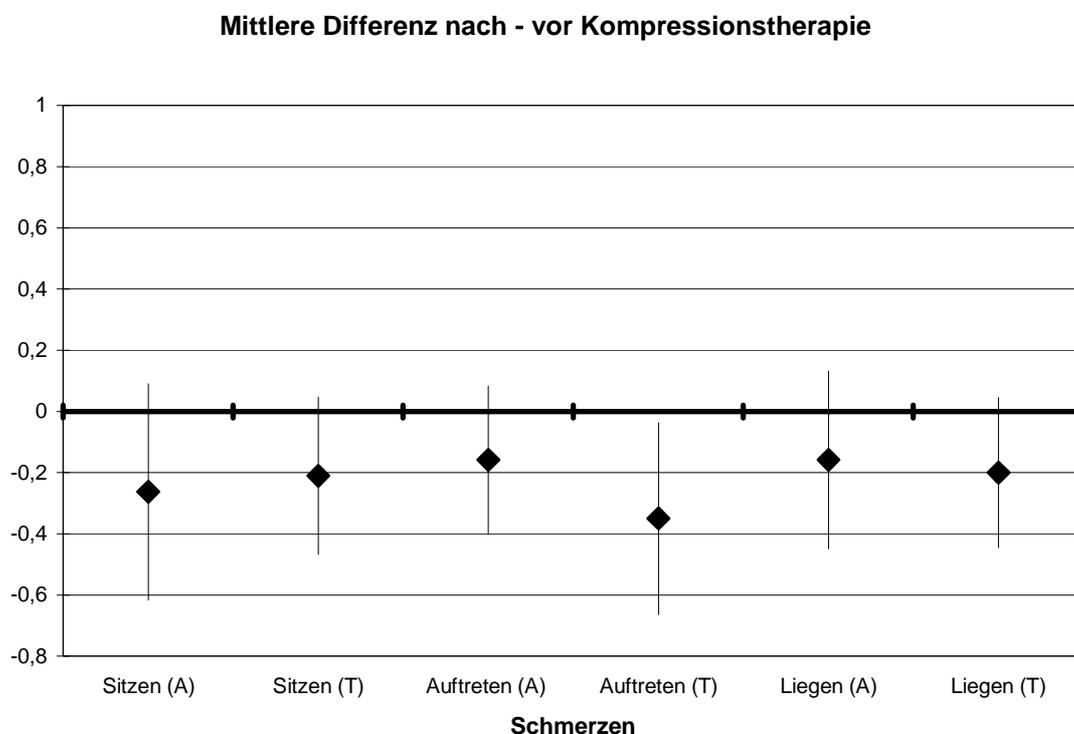


Abbildung 4-11 Schmerzen

Schlafprobleme aufgrund der Beinbeschwerden gaben 20% der Probanden im Alltag an, speziell nach Training erhöhte sich dieser Anteil auf 30%. Wurde ein Kompressionsstrumpf getragen, so beliefen sich die Nennungen auf 21,1% im Alltag und 20% nach Training. Die mittlere Differenz der Schlafprobleme betrug im Alltag 0,05 Punkte (95% Konfidenzintervall 0,49 bis -0,39 Punkte) und nach Training -0,2 Punkte (95%-KI 0,25 bis -0,65 Punkte).

Schwellungen der Beine wurden von 80% der Probanden im Alltag beobachtet, nach Training von 75%. Nach 4-wöchiger Kompression wurde diese von 52,6% der Probanden im Alltag und 30% nach Training berichtet. Daraus ergab sich die mittlere Reduktion im Alltag um -1,0 Punkte (95%-KI -0,49 bis -1,51 Punkte) und nach Training um -0,7 Punkte (95%-KI -0,32 bis -1,08 Punkte), Beide Werte erreichen eine statistische Signifikanz auf einem 95% Niveau.

Eine Steifigkeit der Beingelenke berichteten 35% der Probanden. Am Ende der Studie wurde die Steifigkeit noch von 20% im Alltag und 10% nach Training angegeben. Die mittlere Reduktion der Steifigkeit mit MKS im Alltag betrug -0,37 Punkte (95%-KI -0,04 bis 0,7 Punkte) und nach Training -0,4 Punkte (95%-KI -0,08 bis -0,72 Punkte).

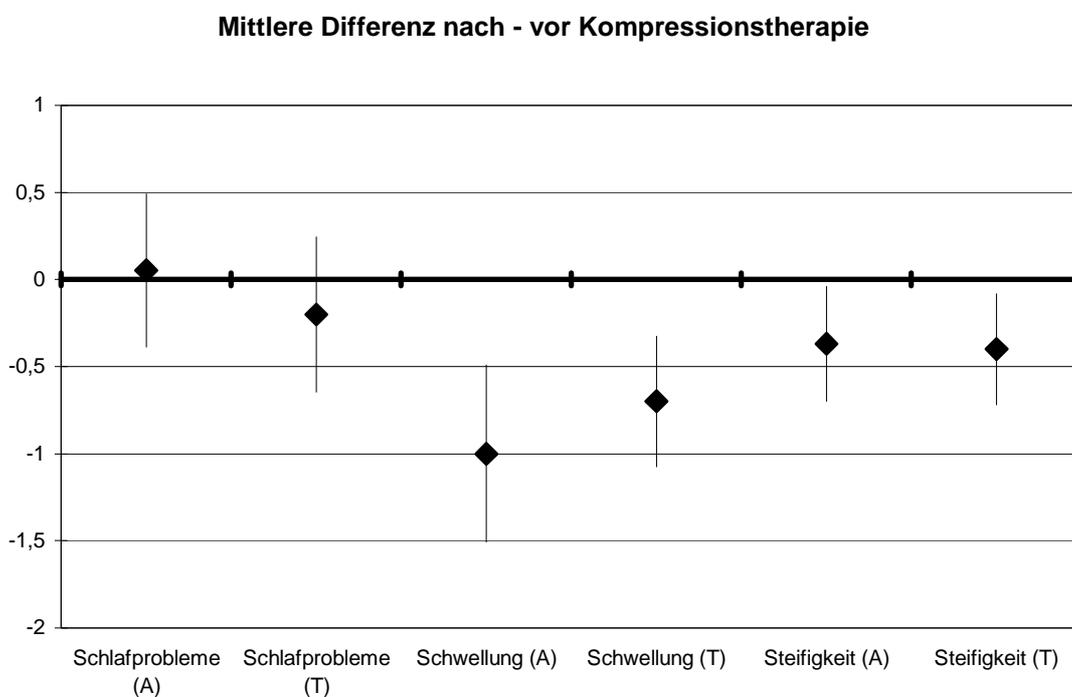


Abbildung 4-12 Schlafprobleme / Schwellung / Steifigkeit in den Beinen

### 4.3.2 Zusammenfassung

Es zeigte sich eine signifikante Reduktion der Beschwerdesymptomatik in 14 der 28 Items. Bei 11 Items wurde im Mittel eine Reduktion angegeben, die jedoch kein statistisches Signifikanzniveau erreicht. In 2 Fällen ergab sich keine Veränderung der Beschwerden vor und nach Kompressionsbehandlung und 1 Item (Schlafprobleme) wurde nach Therapie im Mittel stärker angegeben, jedoch ohne Signifikanzniveau zu erreichen.

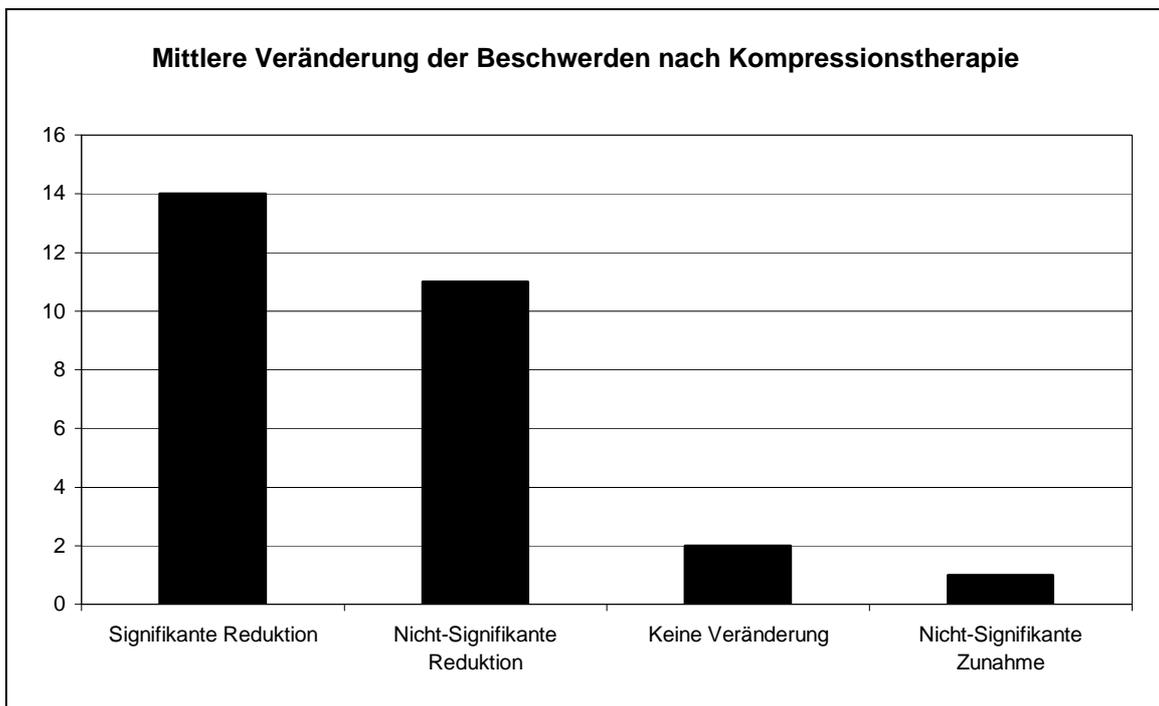


Abbildung 4-13 Mittlere Veränderung der Beschwerden nach Kompressionstherapie, bei einer signifikanten Reduktion schließt das 95%-Konfidenzintervall die 0 nicht mit ein

Im Alltag zeigt sich eine mittlere Reduktion der CVI-typischen Beschwerden um  $-0,443$  Punkte (95%-KI  $-0,318$  bis  $-0,568$  Punkte). Während oder nach Training beträgt die mittlere Reduktion  $-0,46$  Punkte bei einem 95%-Konfidenzintervall von  $-0,351$  bis  $-0,569$  Punkten. Sowohl die Beschwerdeminderung im Alltag als auch nach Training sind statistisch signifikant mit einem  $p < 0,001$  im 1-Stichproben t-Test.

Bei der globalen Auswertung der Beschwerdesymptomatik mit gleicher Gewichtung der verschiedenen Items ergibt sich eine Reduktion der globalen Beschwerdesymptomatik um  $-0,453$  Punkte nach Kompressionstherapie über 4 Wochen bei einem 95%-KI von  $-0,37$  bis  $-0,54$  Punkten. Im 1-Stichproben t-test ergibt sich ein statistische Signifikanz bei einem  $p < 0,0001$ .

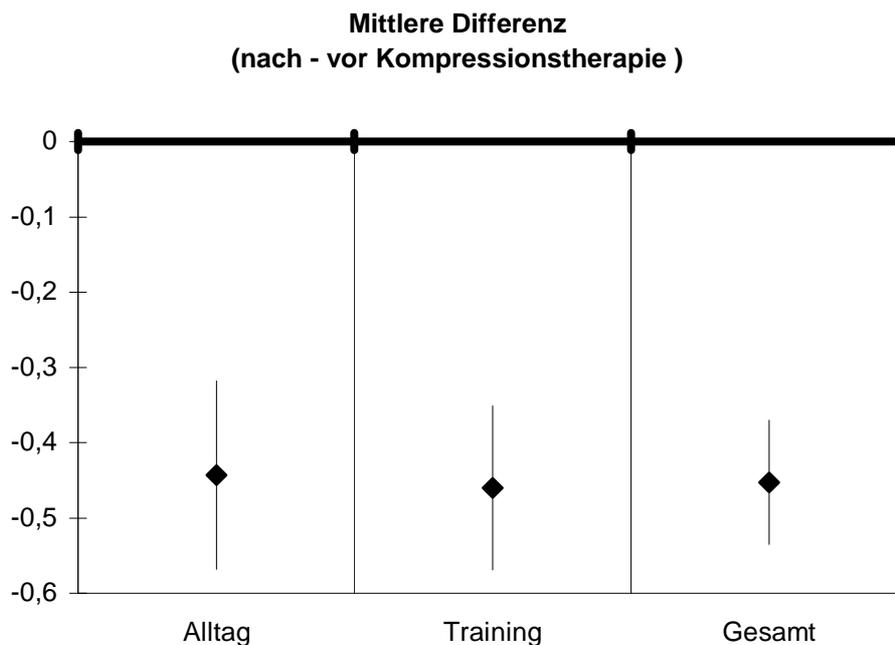


Abbildung 4-14 Globale Veränderung der Beschwerden nach Kompressionstherapie über 4 Wochen

### 4.3.3 Lebensqualität

Die Beurteilung der Aussagen zur Lebensqualität wurden auf einer visuellen Analogskala am Termin der dritten Belastungsuntersuchung durchgeführt. Es sollte die Einschätzung der Aussagen aufgrund der letzten 7 Tage durchgeführt werden. Für die Auswertung wurde der Abstand der Markierung zum positiven Pol am Anfang der Skala gemessen und als Punktwert in den Auswertungsbogen eingetragen. Bei der Spalte Gedanken / Sorgen wurden die Werte von der rechten Seite her ausgezählt, da der positive Pol auf dieser Seite zu finden war. Danach wurden für die einzelnen Items Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle berechnet.

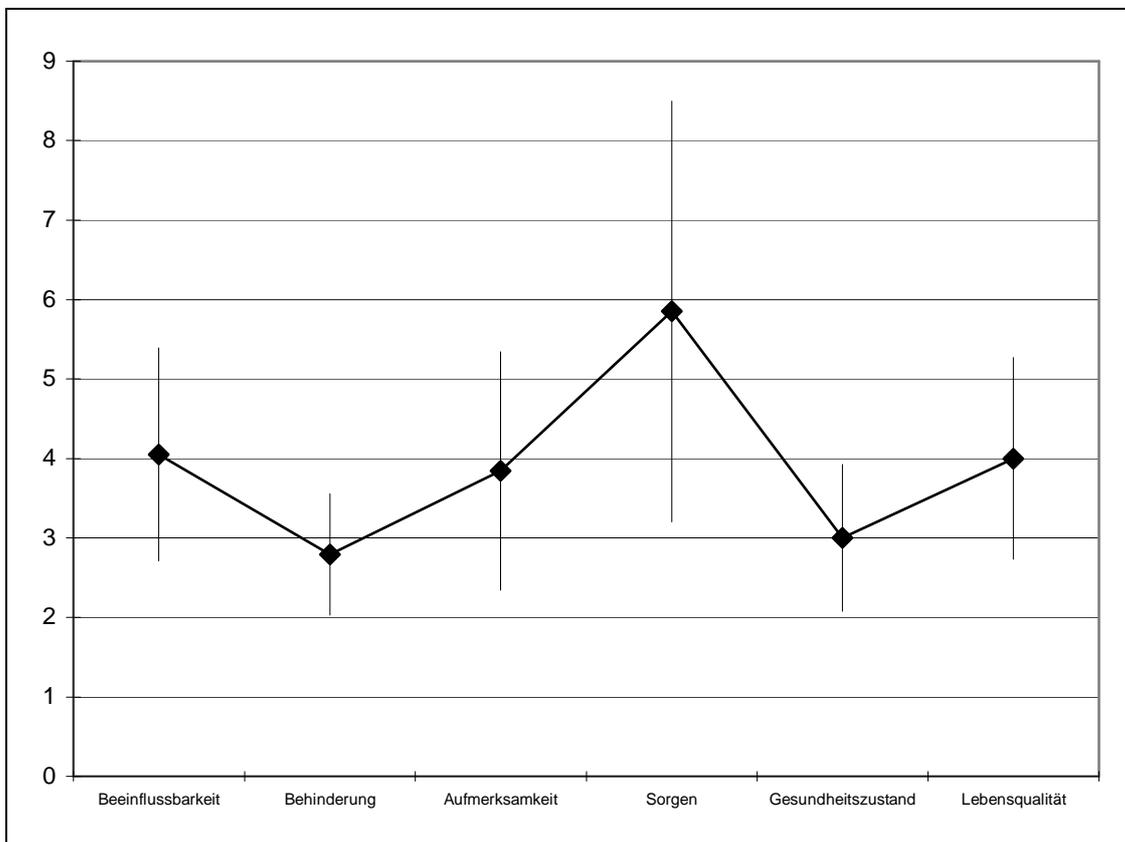


Abbildung 4-15 Lebensqualität und Umgang mit der CVI

Die Beeinflussbarkeit der Beschwerden durch Übungen und Bewegung wurde im Mittel mit 4,05 Punkten (95%-KI 5,39 bis 2,71 Punkte) angegeben. Eine Bewertung der Behinderung im Alltag aufgrund von Beschwerden ergab im Mittel 2,79 Punkte (95%-KI 3,55 bis 2,03 Punkte). Die gedankliche Beschäftigung und Aufmerksamkeit gegenüber den Beschwerden wurde mit 3,84 Punkten als Mittelwert (95%-KI 5,34 bis 2,34 Punkte) berichtet. Gedanken und Sorgen über die Prognose wurden im Mittel mit 5,85 Punkten (95%-KI 8,50 bis 3,20 Punkte). Im Mittel wurde der allgemeine Gesundheitszustand mit 3 Punkten (95%-KI 3,92 bis 2,08 Punkte) eingeschätzt. Im globalen Urteil wurde die mittlere Lebensqualität mit 4 Punkten (95%-KI 5,27 bis 2,73 Punkte) eingeschätzt, wobei 1 Punkt einer „sehr guten“ und 15 Punkte einer „sehr schlechten“ Lebensqualität entsprachen.

#### 4.4 Beurteilung des Kompressionsstrumpfes

Die Beurteilung der Eigenschaften des Kompressionsstrumpfes erfolgte mithilfe einer 5-stufigen ordinalen Skala. Die Ergebnisse sind Tabelle 4-5 zu entnehmen.

	MEDIAN	QUARTILSABSTAND		MEDIAN	QUARTILSABSTAND	
		75%-Quartil	25%-Quartil		75%-Quartil	25%-Quartil
	ALLTAG			TRAINING		
Strumpf gab Halt	4	4	3	4	4	3
Strumpf saß bequem	4	4	3	3	4	2,25
Strumpf gab Sicherheit	3	4	2	2	4	1
Strumpf war strapazierfähig	4	4	3	4	4	3
Strumpf war zu eng	1	2	1	2	2	1
Strumpf schnürt ein	1	2	1	1	2	1
Strumpf rutscht	1	2	1	1	2	1
Hautreaktion auf den Strumpf	1	1	1	1	1	1
Strumpf schränkt Bewegung ein	1	1	1	1	1,75	1
Strumpf trocknet die Haut aus	1	3	1	1	2	1
Haut schwitzt unter dem Strumpf	1	2	1	2	3,75	1
Kältegefühl unter dem Strumpf	1	2	1	1	1	1
Strumpf stört	1	2	1	2	2,75	1

Tabelle 4-5: Auswertung der Angaben zur Beurteilung des MKS anhand von Median und Quartilsabständen. Unterschieden wird die Situation im „Alltag“ und beim „Training“.

Es zeigte sich eine gute Akzeptanz des Kompressionsstrumpfes. Die positiven Eigenschaften des Kompressionsstrumpfes wurden im Median als hoch eingestuft. In allen 4 Kategorien ergab sich ein Median, der bei „ziemlich“ (3) oder „stark“ (4) lag. Nur das Gefühl der Sicherheit durch den Strumpf beim Training wurde mit „etwas“ (2) geringer bewertet. Es konnten keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen Alltags- und Trainingsbedingungen festgestellt werden.

Bezüglich der abgefragten, potentiell unangenehmen, Eigenschaften, zeigte sich im Median der Bewertungen eine sehr niedrige Einstufung. In allen 9 Kategorien lag der Median bei „gar nicht“ (1) und nur in 3 von 18 möglichen Bewertungen bei „etwas“ (2). Wie schon bei den zuvor besprochenen Kategorien wurden keine statistisch signifikanten Differenzen von Alltags- oder Trainingsbedingungen gefunden.

## 4.5 Compliance

Die Compliance der Probanden bezüglich der Kompressionstherapie wurde anhand eines Fragebogenitems abgefragt. Dabei sollte die Häufigkeit des Tragens des MKS in Abstufungen von „immer“ über „häufig“, regelmässig“, „selten“ bis „nie“ beurteilt werden.

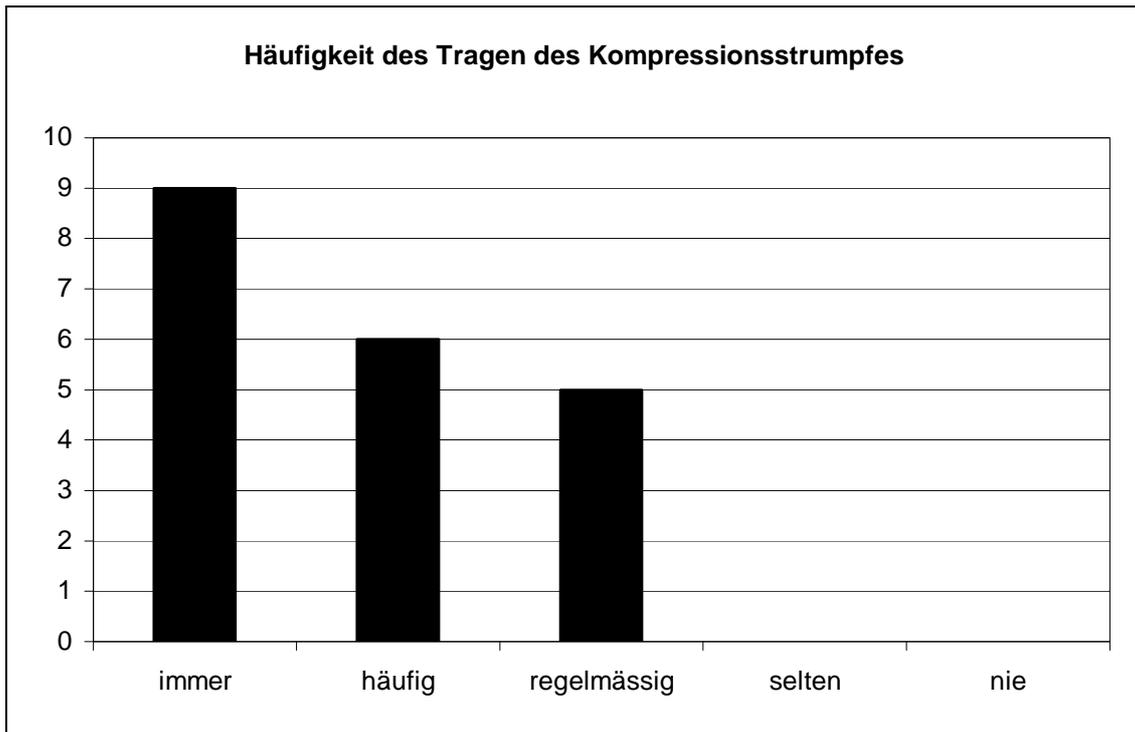


Abbildung 4-16 Compliance

Es zeigt sich, dass von 20 Probanden 9 dem MKS „immer“ trugen, 6 „häufig“ und 5 „regelmässig“. „Nie“ oder „selten“ wurden nicht genannt. Der Median der Angaben liegt bei der Ausprägung „häufig“.

## 4.6 Zufriedenheit

Auch bezüglich der allgemeinen Zufriedenheit, der Belastung durch die CVI und des Gefühls bezüglich der Änderung der Leistungsfähigkeit durch die Kompressionstherapie der Probanden sollten Items bewertet werden. Angaben, wie die Auswirkungen der Erkrankung erlebt wurden, waren in Abstufungen von „gar nicht“ bis „sehr“ vorzunehmen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-6 dargestellt.

KRITERIEN	MEDIAN	QUARTILSABSTAND	
		75%-Quartil	25%-Quartil
Belastung durch den Zeitaufwand der Behandlung	1	2	1
Belastung durch die Beschwerden im Alltag	2	2,75	2
Glaube an Leistungssteigerung durch den MKS	3	4	2
Zufriedenheit mit den Beinen	3	4	3
Umgang mit dem Erscheinungsbild möglich	4	4	3
Zufriedenheit mit dem Venenzustand	3	4,25	3
Zufriedenheit mit der Wirkung des MKS	4	5	3
Zufriedenheit mit der Betreuung	5	5	4

Tabelle 4-6 Auswertung der Probandenzufriedenheit. Berechnet wurden Median und Quartilsabstand. Die Werte 1 bis 5 entsprechen den Antworten „gar nicht“, „etwas“, „mäßig“, „ziemlich“ und „sehr“.

Hier fand sich eine tendenziell positive Einschätzung der Probanden. Die Belastung durch Therapie und die Symptomatik der CVI wurde als gering eingestuft. Es zeigte sich eine mäßige bis ziemliche Zufriedenheit mit dem Zustand der Beine und dem äußeren Erscheinungsbild. Die Wirkung der Kompressionstherapie wurde als hoch bewertet und es wurde eine mäßige Leistungssteigerung durch den Strumpf angenommen. Die Probanden waren mit der Betreuung im Rahmen der Studie sehr zufrieden.

## 5 Diskussion

In Rahmen der Diskussion werden die Ergebnisse der Untersuchung mit den zuvor definierten Thesen verglichen. Mögliche Fehlerquellen und deren Ursachen werden erörtert, sowie im wissenschaftlichen Kontext diskutiert. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden die Ergebnisse der Leistungsdiagnostik und des Fragebogens getrennt behandelt.

### 5.1 Leistungsdiagnostik

Die Fragestellung dieser Arbeit ist der Einfluss einer Kompressionstherapie bei Hochleistungssportlern mit nachgewiesener Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen. Dieser Schwerpunkt wurde ausgewählt, da in der derzeitigen Literatur Daten bezüglich Venenerkrankungen und Sport nur in geringem Umfang vorliegen. Vergleicht man die Anzahl und Qualität der Publikationen bezüglich arterieller und venöser Durchblutungsstörungen im Zusammenhang mit Sport, so stellt man ein deutliches Defizit auf dem Gebiet der venösen Erkrankungen fest. Auch die Deutsche Gesellschaft für Phlebologie hat dies erkannt und die Forschung über Venen und Sport als förderungswürdig eingestuft (Deutsche Gesellschaft für Phlebologie, 2005).

Die entwickelten Thesen lauten:

**These 1:** Das Anlegen eines Medizinischen Kompressionsstrumpfes bei Läufern mit einer chronisch venösen Insuffizienz führt zu einer Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

**These 2:** Eine mittelfristige, konsequente Kompressionstherapie bei Läufern mit einer chronisch venösen Insuffizienz führt zu einer Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

Um diese Thesen zu überprüfen, wurde bei 20 Läufern vergleichende Belastungsuntersuchungen mit und ohne MKS durchgeführt. Als Voraussetzungen für das Studienprotokoll und den Versuchsaufbau wurde angenommen:

1. Die Leistungsfähigkeit, bzw. deren Veränderung, lässt sich anhand von Belastungsuntersuchungen mit Laktatmessung feststellen.
2. Eine Kompressionstherapie mit MKS hat Einfluss auf die CVI

Die Feststellung der Leistungsfähigkeit mittels Laktatleistungskurve ist in der sportmedizinischen Praxis etabliert und dient als Basis für Trainingsempfehlungen, sowie zur Erfolgskontrolle des Trainings. Es wird angenommen, dass sich sowohl der aktuelle Leistungsstand, als auch die Veränderung der Leistung durch Belastungsuntersuchungen objektiv abbilden lassen (Röcker, 2004). Dazu dient die Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle (IAS), die im Rahmen verschiedener Publikationen validiert (Röcker et al., 1995, 1998; Coen et al., 2001) und als gut reproduzierbar befundet wurde (Dickhuth et al., 1999). Es bleibt allerdings zu beachten, dass bezüglich der Auswahl eines Schwellenkonzepts in der Literatur bisher kein gemeinsamer Konsensus gefunden wurde. Als mögliche Fehlerquellen sind die Spezifität der Laktatmessung zu berücksichtigen sowie die tatsächliche Korrelation von IAS und tatsächlicher Ausdauerleistungsfähigkeit, welche je nach Autor unterschiedlich angegeben wird. Einfluss- und Störgrößen bei dieser Untersuchung stellen eventuelle Abweichungen vom Belastungsprotokoll, den standardisierten Messbedingungen (Röcker et al., 2001), Abnahmefehler (Robergs et al., 1990), Unpräzision und Drift des Messgerätes sowie eine Reihe von individuellen Faktoren wie Umstellung der Ernährungsgewohnheiten, Wettkampfbelastung, zirkadiane Leistungsschwankungen u.a. dar. Zwar wurde versucht, den Einfluss dieser Faktoren möglichst geringzuhalten, dennoch kommt es durch sie zu einer Einschränkung von Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse. Von einigen Autoren wird die Interpretation der respiratorischen Parameter zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit favorisiert, da eine kontinuierliche Registrierung dieser Parameter möglich ist

und damit eine exaktere Bestimmung der anaeroben Schwelle möglich erscheint. Es zeichnet sich jedoch in der derzeitigen Literatur eine geringere Korrelation der maximalen Sauerstoffaufnahme gegenüber Laktat als Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit ab (Shepard, 1993).

Der Einfluss eines MKS auf die venöse Situation ist durch eine Reihe von Publikationen bestätigt. So wird durch den MKS ein Druckgradienten von distal nach proximal erreicht und die venöse Drainage verbessert (Jünger et al., 1998; Weidinger et al., 1987). Über die Druckerhöhung kommt es zu einer Kompression der superfiziellen, dilatierten Venen, damit zu einer Verringerung des Venenquerschnittes und Beschleunigung des venösen Blutflusses (Stöberl et al., 1989). Zusätzlich wird eine Verbesserung der Venenklappenschließfunktion beobachtet (Jünger et al., 1998; Stöberl et al., 1989). Nach Kompressionstherapie kommt es zu einem Rückgang der Symptomatik wie Schmerzen oder Juckreiz sowie zu einer Verbesserung der Mikrozirkulation und einer Verringerung des durchschnittlichen Venendurchmessers (Klyscz et al., 1997).

Zur Entwicklung der Thesen trugen verschiedene Überlegungen bei. Im Rahmen der Leistungsdiagnostik wird aufgrund von respiratorischen, kardialen oder metabolischen Parametern auf die körperliche Leistungsfähigkeit geschlossen. Die metabolische Situation der Muskulatur ist ein limitierender Faktor der Leistungsfähigkeit. Daraus kann geschlossen werden, dass es bei CVI, bei der es zu einer Verschlechterung des Stoffwechsellagerung der unteren Extremität kommt, eine Veränderung der Leistungsfähigkeit stattfinden könnte. Da die Blutlaktatkonzentration unter Laborbedingungen hauptsächlich abhängig von der Menge des produzierten Pyruvats ist, kann die Messung desselben als Parameter für eine hypoxische Stoffwechsellagerung der Muskulatur dienen (Shepard, 1993). Unter der Überlegung, dass durch eine unter Kompressionstherapie verbesserte Oxygenierung und venöse Funktion (Agu et al., 2004) auch das Ausmaß der lokalen Hypoxie der Skelettmuskulatur positiv beeinflusst wird, lässt sich schließen, dass die Auswirkungen einer Kompressionstherapie mithilfe der Messung der Blutlaktatkonzentration abgebildet werden kann. Als Gegenargument lässt sich anbringen, dass eine unter körperlicher Belastung verstärkte Durchblutung der Extremität, verbunden

mit einer verbesserten venösen Drainage aufgrund der verstärkten Aktivierung der Hilfsmechanismen (z.B. der Muskel- und Gelenkpumpen) schon zu einer Verbesserung der metabolischen Situation der Extremität führt, so dass die venöse Insuffizienz nicht ausschlaggebend für die Determinierung der Leistungsfähigkeit ist. Es zeigte sich in verschiedenen Publikationen ein positiver Effekt von Gefäßsporttraining auf die venöse Situation bei CVI (Weidinger et al., 1987; Venerando et al., 1983; Gottschalk et al., 1986).

Nicht zu vernachlässigen ist auch eine mögliche Auswirkung der Kompressionstherapie unabhängig von der venösen Situation auf die Leistungsfähigkeit. Flügge et al. untersuchten 1971 die Auswirkungen einer Kompressionstherapie auf die statische Muskelkraft der Beine und stellten dabei eine signifikante Reduzierung derselben, die jedoch durch Krafttraining kompensiert werden konnte (Flügge et al., 1971, 1976). Eine 1987 von Berry et al. durchgeführte Studie zeigte bei Belastungsuntersuchungen von gesunden Sportlern auf einem Fahrradergometer mit MKS eine signifikante Erniedrigung der Laktatkonzentration in der Erholungsphase. Allerdings ließen sich diese Ergebnisse bei einer Untersuchung auf einem Laufbandergometer nicht bestätigen (Berry et al., 1987, 1990). Kritisch zu betrachten ist auch die sehr geringe Anzahl der Probanden und der Belastungsuntersuchungen, die in dieser Untersuchung beurteilt wurden.

Im Rahmen unserer Messungen konnten keine relevanten statistisch signifikanten Veränderungen der dynamischen Ausdauerleistungsfähigkeit durch Anlage eines MKS bzw. nach Kompressionstherapie bei Läufern und Radfahrern (Rauschenbach, 2005) festgestellt werden. Die statistisch signifikante Erniedrigung der Herzfrequenz an der IAS unter Kompressionstherapie im Mittel um -2,38 Schläge pro Minute sollte aufgrund der Schwankungen und hohen Variabilität (Shepard, 1993) der Herzfrequenz als nicht beweisend für eine Änderung der Ausdauerleistung angesehen werden. Es zeigt sich keine Abhängigkeit der Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit mit/ohne Kompression von der venösen Wiederauffüllzeit  $T_0$ . Im Falle einer Beeinflussung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch die CVI wäre eine Korrelation von venöser

Funktion und Ausdauerleistung zu erwarten. Deshalb müssen die Thesen 1 und 2 verworfen werden.

Die Studie konnte jedoch zeigen, dass eine Therapie mit Medizinischen Kompressionsstrümpfen bei Läufern mit CVI zu keiner, im Mehrstufentest messbaren, Leistungseinschränkung führt. Die Versorgung mit MKS behindert die muskuläre Arbeit bei Leistungssportlern offensichtlich nicht.

Die Beurteilung der venösen Funktion anhand der venösen Wiederauffüllzeit  $T_0$  des DPPG ist sicherlich zu diskutieren. So wird  $T_0$  zusammen mit der halben Wiederauffüllzeit von *Gerlach* als die einzig reproduzierbaren und aussagekräftigen Parameter gesehen, *May* dagegen bezeichnet diesen Parameter aufgrund der starken Temperaturabhängigkeit als weich (Rabe et al., 2000). Die Entscheidung für die Auswahl der venösen Wiederauffüllzeit als Maß für die venöse Funktion wurde dann auch aufgrund der Tatsache getroffen, dass nicht die Lokalisation sondern die Hämodynamik für die Ausprägung der CVI entscheidend ist (Recek, 2004). Es stellte sich auch das Problem des Probandengutes, bei dem häufig eine hohe Wiederauffüllzeit  $T_0$  oder eine einseitige Lokalisation der CVI zu finden war. Deshalb kann auch nicht abschließend gesagt werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit bei einer schlechteren venösen Situation der Probanden die gleichen wären.

Zu diskutieren ist, ob die lokale Verbesserung der Hypoxie der Unterschenkelmuskulatur durch den MKS nur ungenügend in der globalen Laktatkonzentration abgebildet werden kann. Da Veränderungen in Einflussgrößen wie der Glykogenreserve, der Pufferkapazität, der Diffusionsgeschwindigkeit und Metabolisation des Laktats (Shepard, 1993) nicht vollständig zu erfassen sind, können hier Fehlerquellen für die fälschliche Ablehnung der Thesen liegen. Hinzu kommen Störgrößen wie die methodenbedingte Meßungenauigkeit, Verunreinigung der Proben, inkorrektes Probenvolumen, Instabilität der Laktatprobe, Laufbandgewöhnung und die physiologische Schwankungsbreite der Leistungsfähigkeit (Röcker et al., 2001; de Mareés, 2002), die nicht kontrollierbar sind. Zur Minimierung dieser Faktoren wurden die Messungen soweit möglich unter standardisierten Bedingungen zur gleichen Tageszeit von den gleichen Testern durchgeführt. Auch die Empfehlung bezüglich Ernährung und Wettkampfbelastungen vor

Belastungstest wurde gegeben, deren Einhaltung konnte jedoch nicht überprüft werden.

Die Empfehlungen zur Dauer einer Kompressionstherapie bis zu einer morphologisch sichtbaren Veränderung unterscheiden sich je nach Autor. Die medizinische Indikationsstellung einer Kompressionstherapie bei CVI beinhaltet einen langfristigen Therapieplan (de Mareés, 2002). In Teilaspekten der CVI wie beispielsweise der Ödemreduktion werden Zeiträume von 2-12 Wochen angegeben, nach denen dieser Effekt eintritt (Onorati et al., 2003; Vayssairat, et al. 2000; Diehm et al., 1996). Andererseits kommt es nach anderen Autoren schon während des Zeitraums eines Langstreckenfluges zu einem ödemreduzierenden Effekt durch Tragen von MKS (Wienert et al., 2004; Belcaro et al., 2002). Dies zeigt, dass die Empfehlung zur Tragedauer eines MKS im Zeitraum von Stunden bis zu Jahren gegeben wird. In dieser Arbeit konnte bezüglich eines objektiven Effekts auf die Leistungsfähigkeit sowohl akut als auch mittelfristig, über eine Therapiedauer von 4 Wochen, keine Anhaltspunkte gewonnen werden. Interessant zu erfahren wäre, ob es bei langfristiger Kompressionstherapie zu einer Veränderung der Leistungsfähigkeit kommt. Allerdings könnte dieser Langzeiteffekt aufgrund der Vielzahl der Einfluss- und Störgrößen, wie beispielsweise einer eventuellen Änderung des Trainingsverhalten, jahreszeitlichen Schwankungen oder einer Veränderung der allgemeinen Leistungsfähigkeit durch Krankheit oder Belastung während dieses Zeitraums, nur erschwert eruiert werden.

Die Einhaltung der Vorgaben bezüglich der Kompressionstherapie war nicht überprüfbar, so dass die Verfälschung der Ergebnisse durch eventuelle Non-Compliance der Probanden, die nicht angegeben wurde, möglich ist.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass es nicht möglich war, eine Kontrollgruppe für die Messung eines Langzeiteffektes einer Kompressionstherapie zu definieren. Deshalb lassen sich systematische Fehler beispielsweise durch Änderung im Trainingsverhalten oder jahreszeitliche Schwankungen nur ungenügend abbilden.

## 5.2 Beschwerden

In der derzeitig verfügbaren Literatur wird eine Verringerung verschiedener CVI-typischer Beschwerden wie Schmerzen, Schwellneigung, Müdigkeitsgefühl, Schmerzen und Spannungsgefühl im Alltag unter Kompressionstherapie beschrieben (Klyscz et al., 1997; Motykie et al., 1999; Vollert, 2000). Auch im Rahmen dieser Arbeit konnte dieser Effekt einer signifikanten Reduktion von typischen Beschwerden im Alltag reproduziert werden. Eine Kompressionstherapie führt zu einer Reduktion der CVI-spezifischen Beschwerden im Alltag. These 3 kann also in dieser Arbeit nicht widersprochen werden

Zu der Veränderung der Beschwerden einer CVI bei körperlicher Aktivität wird berichtet, dass durch frühzeitige konsequente Therapie mit Kompressionsstrümpfen in Kombination mit Physiotherapie und der Teilnahme an einer Gefäßsportgruppe die venöse Drainage verbessert (Werner, 2001) und schwerwiegende Komplikationen der CVI verringert werden können (Jünger et al., 1998). Die Morbidität bei Patienten mit venösen Insuffizienzen unterscheidet sich signifikant bei Trainierten und Untrainierten (Bringmann, 1986). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass hier nicht explizit auf die Wirkung der Strümpfe während oder nach körperlicher Aktivität eingegangen wurde, sondern vielmehr der Gesamtzustand der Patienten nach Therapie beurteilt wurde.

Die Ergebnisse innerhalb dieser Studie zeigen nun einen statistisch signifikanten Rückgang der Beschwerdesymptomatik bei Kompressionstherapie während oder nach sportlicher Aktivität. Es zeigt sich, dass bezüglich der Beschwerden während des Trainings ein signifikanter Rückgang zu verzeichnen ist. Daraus folgt, dass These 4 in dieser Arbeit nicht widerlegt wird. Eine Kompressionstherapie führt zu einer Reduktion der CVI-spezifischen Beschwerden während oder nach sportlicher Aktivität.

Dies ist wiederum von Bedeutung für die Empfehlung eines MKS während körperlicher Aktivität. Bisher wurde eine allgemeine Empfehlung zur Kompressionstherapie während sportlicher Aktivität vor allem bei höhergradiger CVI gegeben (Schauer et al., 1990). Aufgrund unserer Ergebnisse lässt sich nun der Schluss ziehen, dass CVI Patienten grundsätzlich von einer Kompressionstherapie bei sportlicher Aktivität profitieren, auch bei einer nur

geringen Ausprägung der CVI. Deshalb sollte eine generelle Empfehlung für eine Kompressionstherapie unabhängig von der Schwere der CVI ausgesprochen werden.

Zu diskutieren ist die Erhebung der Daten mittels eines Fragebogens. Diese Art der Auswertung zur Beurteilung von Beschwerden ist eine gängige Methode und wird in verschiedenen Disziplinen angewandt. Um Fehlerquellen wie den Fehler zur zentralen Tendenz und Symptomtoleranz auszublenden, wurde die Differenz der Bewertungen der Probanden im Vergleich vor bzw. nach Kompressionstherapie gebildet. Einzuwenden ist allerdings, dass die retrospektive Einschätzung der Beschwerden vor Therapie ungenau bleibt. Auch der Hawthorne-Effekt, der besagt, dass die Probanden die Hypothesen errahnen und sich dementsprechend verhalten, kann hier eine Störgröße darstellen.

### **5.3 Compliance**

Die Compliance der Patienten stellte einen weiteren Untersuchungsaspekt dar. Zu diesem thematischen Komplex wurde These 5 aufgestellt:

Die Compliance bezüglich der Kompressionstherapie bei Läufern mit einer chronisch venösen Insuffizienz ist gering.

Eine geringe Compliance ist ein limitierender Faktor bezüglich der Effektivität einer Kompressionstherapie (Ramelet, 2002). In Vorarbeiten zu der Compliance bezüglich einer Kompressionstherapie bei Patienten mit CVI zeigt sich eine gute Annahme der Kompressionstherapie (Vollert, 2000). Inwiefern sich diese Ergebnisse auch auf sportlich aktive Probanden mit CVI übertragen lassen, war ein Gegenstand dieser Arbeit.

In unseren Ergebnissen wird eine sehr gute Compliance der Probanden bezüglich der Kompressionstherapie festgestellt. Es zeigt sich, dass eventuelle ästhetische oder funktionelle Vorbehalte von sportlich aktiven Personen gegenüber medizinischen Kompressionstrümpfen sich nicht in der Häufigkeit des Tragen des MKS niederschlagen. Damit muss These 5 in diesem Falle verworfen werden.

Die Compliance bezüglich der Kompressionstherapie bei Läufern ist hoch.

Die Erhebung der Compliance wurde mithilfe eines Fragebogens durchgeführt. Die Bewertung erfolgte auf einer ordinalen Skala, auf der die Häufigkeit des Tragens des MKS angegeben werden sollte. Es handelt sich hierbei also um eine subjektive, retrospektive Einschätzung der eigenen Compliance. Dies kann einen systematischen Verzerrung der Antworten im Sinne einer Tendenz zur sozialen Erwünschtheit beinhalten.

#### **5.4 Medizinischer Kompressionsstrumpf (MKS)**

Die Eignung des MKS für den Einsatz bei sportlich aktiven Probanden im Training wie im Alltag ist für die Häufigkeit des Tragens ein entscheidender Faktor. Wird der Strumpf als störend empfunden, wird er nicht getragen. In dieser Arbeit sollte überprüft werden, wie der MKS unter den Probanden angenommen wird. Hier zeigten sich positive Bewertungen, negative Eigenschaften wurden sehr gering eingestuft, während die Beurteilung der Strapazierfähigkeit, Bequemlichkeit und anderer positiver Eigenschaften durchweg höher ausfiel. Damit kann These 6 in diesem Fall nicht widerlegt werden. Der MKS Venotrain Champion ist geeignet für eine Kompressionstherapie bei Läufern.

Wiederum ist der Einsatz des Fragebogens kritisch zu hinterfragen, auch hier kann eine systematische Verzerrung der Antworten zu positiven Aussagen hin eine Rolle spielen. Aufgrund des Studiendesigns war jedoch eine andere Beurteilung des MKS nicht vorgesehen. Tägliche Aufzeichnungen über Veränderungen, Beschwerdetagebücher oder vergleichbare Methoden wurden aufgrund des großen Zeitaufwandes für die Probanden als nicht praktikabel angesehen.

## 5.5 Schlussfolgerung aus der Arbeit

Anhand der erhobenen Daten und der statistischen Ergebnisse sollten nun unsere aufgestellten Thesen überprüft und diskutiert werden. Hier lassen sich nun mehrere Schlussfolgerungen ziehen:

1. Das Tragen eines MKS zum Zeitpunkt einer sportlichen Belastung hat keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Durch das Tragen des MKS bei sportlicher Belastung kommt es zu keiner messbaren Leistungsminderung
2. Eine 4-wöchige Kompressionstherapie verändert die körperliche Leistungsfähigkeit nicht messbar. Die Leistungsfähigkeit wird durch eine Kompressionstherapie nicht in objektivierbarem Maße eingeschränkt.
3. Eine 4-wöchige Kompressionstherapie bei Sportlern reduziert die CVI-typischen Beschwerden signifikant im Alltag
4. Eine 4-wöchige Kompressionstherapie bei Sportlern reduziert die CVI-typischen Beschwerden signifikant während oder nach sportlicher Aktivität
5. Die Compliance von sportlich aktiven Personen bezüglich einer Kompressionstherapie ist hoch
6. Der MKS Venotrain Champion® der Firma Bauerfeind eignet sich für Alltagsgebrauch und Training bei sportlich aktiven Personen
7. Eine Kompressionstherapie bei sportlich aktiven Patienten mit CVI führt zu hoher Zufriedenheit bei geringem Zeitaufwand

Zusammenfassend lässt sich also keine objektive Änderung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch eine Kompressionstherapie feststellen. Die hohe Compliance, Zufriedenheit und Beschwerdereduktion unter Kompressionstherapie bei sportlich aktiven Patienten mit CVI sollte eine generelle Empfehlung einer Kompressionstherapie unabhängig vom Schweregrad der CVI zur Folge haben. Die fehlende Leistungsminderung und die subjektiv empfundene Verbesserung der venösen Situation lässt auch eine Kompressionstherapie bei Läufern in Training und Wettkampf sinnvoll erscheinen. Die Ergebnisse der Untersuchung bei Radfahrern (Rauschenbach, 2005) zeigen ein ähnliches Bild, so dass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Sportarten möglich erscheint.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss einer Kompressionstherapie bei Läufern mit einer Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und Laktatspiegel untersucht. Dazu wurden 3 Belastungsuntersuchungen bei 20 Läufern mit einer wöchentlichen Trainingsstrecke von mehr als 30 km und einer nachgewiesenen CVI mit Bestimmung von Laktatkonzentration und Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Intensität der Belastung durchgeführt. Zwei Belastungsuntersuchungen wurden mit bzw. ohne eine Kompressionstherapie mit individuell angepassten medizinischen Kompressionsstrümpfen durchgeführt. Einer dritten Belastungsuntersuchung ging eine 4-wöchige konsequente Kompressionstherapie voran. Über den Vergleich der Ergebnisse mit bzw. ohne Kompression ließ sich keine statistisch signifikante Korrelation einer Veränderung der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) und der Kompression feststellen. Auch nach über 4 Wochen durchgeführter Kompressionstherapie zeigte sich keine signifikante Korrelation. Nach Abschluss der Belastungsuntersuchungen wurden anhand eines Fragebogens die subjektiven Beschwerden im Alltag und während des Trainings, der Tragekomforts und der Compliance bezüglich Kompressionstherapie und Lebensqualität evaluiert. Hier zeigte sich eine statistisch signifikante Reduktion von CVI-typischen Beschwerden nach Kompressionstherapie über 4 Wochen in 14 von 28 abgefragten Items. Es kam zu einer Abnahme der Beschwerden um  $-0,45$  Punkte (95%-KI  $-0,37$  bis  $-0,54$  Punkte,  $p < 0,0001$  im 1-Stichproben t-test) in einem Score von 0 bis 5 Punkten. Bei einer situationsbedingten Auswertung, fand sich eine Abnahme der Beschwerden im Alltag um  $-0,44$  Punkte (95%-KI  $-0,32$  bis  $-0,57$  Punkte,  $p < 0,0001$ ) und im Training um  $-0,46$  Punkte (95%-KI  $-0,35$  bis  $-0,57$  Punkte,  $p < 0,0001$ ). Es zeigte sich eine hohe Compliance der Patienten und gute Akzeptanz der Kompressionstherapie. Zusammenfassend lässt sich also keine objektiv messbare Änderung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch eine Kompressionstherapie feststellen. Die hohe Compliance, Zufriedenheit und Beschwerdereduktion unter Kompressionstherapie bei sportlich aktiven Patienten mit CVI sollte eine generelle Empfehlung einer Kompressionstherapie unabhängig vom Schweregrad der CVI zur Folge haben.

## 7 Anhang

### 7.1 Tübinger Fragebogen zur Erfassung der Lebensqualität

#### 1. Frühere Beschwerden an den Beinen

Auf den folgenden Seiten wird Ihnen eine Liste von Beschwerden vorgegeben, die bei Ihrer Erkrankung oder im Laufe der Behandlung auftreten können. Sie betreffen Ihre Beine und Füße.

Bitte lesen Sie jede Beschwerde und entscheiden Sie zuerst, **ob Sie diese Beschwerde in den letzten sieben Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie hatten** oder nicht.

Wenn Sie eine Beschwerde in den letzten 7 Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie nicht hatten, kreuzen Sie bitte "hatte ich nicht" an.

Bitte beurteilen Sie für jede Beschwerde, die Sie in den letzten 7 Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie hatten, wie sehr Sie darunter gelitten haben.

		hatte ich nicht	hatte ich in den letzten 7 Tagen, und ich litt darunter				
			gar nicht	etwas	ziemlich	stark	sehr stark
müde Beine	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Spannungsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schweregefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brennen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stechen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taubheitsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Überempfindlichkeit an den Beinen bei Berührung	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wärmegefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Sitzen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Auftreten	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Liegen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
schlechter Schlaf wegen meiner Beinbeschwerden	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schwellungen der Beine	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Steifigkeit in den Beingelenken	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					

## 2. Aktuelle Beschwerden

Bitte lesen Sie jede Beschwerde und entscheiden Sie zuerst, ob Sie diese Beschwerde in den letzten sieben Tagen hatten oder nicht.

Wenn Sie eine Beschwerde in den letzten 7 Tagen nicht hatten, kreuzen Sie bitte "hatte ich nicht" an.

Bitte beurteilen Sie für jede Beschwerde, die Sie in den letzten 7 Tagen hatten, wie sehr Sie darunter gelitten haben.

		hatte ich nicht	hatte ich in den letzten 7 Tagen, und ich litt darunter				
			gar nicht	etwas	ziemlich	stark	sehr stark
müde Beine	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Spannungsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Schweregefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Brennen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Stechen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Taubheitsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Überempfindlichkeit an den Beinen bei Berührung	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Wärmegefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Sitzen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Auftreten	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Liegen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
schlechter Schlaf wegen meiner Beinbeschwerden	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schwellungen der Beine	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Steifigkeit in den Beingelenken	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					

**Bitte beurteilen Sie jetzt die folgende Aussagen für die letzten 7 Tage**

Ich konnte meine Beschwerden gut beeinflussen (Bewegung, Übungen,...)

Ich konnte nichts gegen meine Beschwerden tun

Ich war durch meine Beschwerden in meinem Alltag überhaupt nicht behindert

Ich war durch meine Beschwerden in meinem Alltag sehr behindert

Ich habe mich überhaupt nicht um meine Beschwerden gekümmert

Ich habe mich dauernd mit meinen Beschwerden beschäftigt

Ich habe mir Gedanken/Sorgen gemacht, dass sich meine Beschwerden verschlimmern können

Ich habe mir keine Gedanken darüber gemacht

**3. Globalurteile**

Wenn sie jetzt noch einmal die letzten 7 Tage insgesamt betrachten, **wie schätzen sie dann alles in allem Ihren Gesundheitszustand ein?**

**Gesundheitszustand alles in allem**

sehr gut

sehr schlecht

Wie schätzen Sie in bezug auf die letzten 7 Tage Ihre Lebensqualität alles in allem ein?

Bitte beziehen Sie dabei mit ein,

- wie es Ihnen körperlich gegangen ist,
- wie Ihr seelisches Befinden war,
- wie Sie in Alltag und Beruf zurechtgekommen sind,
- wie es Ihnen mit Ihrer Familie und Ihren Freunden ging.

**Lebensqualität alles in allem**

sehr gut

sehr schlecht

## 4. Training

Bitte vergleichen Sie jetzt Ihr Training der letzten 4 Wochen in Bezug auf den zeitlichen Umfang und die Intensität der Einheiten mit Ihrem Training 4 Wochen vor dem ersten Ausdauerleistungstest.

	viel größer	wenig größer	gleich	wenig geringer	viel geringer
Die Intensität der letzten 4 Wochen war	<input type="radio"/>				
Der Umfang der letzten 4 Wochen war	<input type="radio"/>				

Freier Kommentar (nur bei Veränderung des Trainings):

## 5. Beurteilung des Strumpfes

Zur besseren Beurteilung des Strumpfes Venotrain Champion beantworten sie bitte nachfolgende Fragen:

		gar nicht	etwas	ziemlich	stark	sehr stark
Er gab Ihnen Halt	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er saß bequem	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er erzeugte ein Sicherheitsgefühl	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er ist strapazierfähig	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er war zu eng	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er schnürte die Haut ein	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				

Er rutschte	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Es gab Reaktionen auf das Strumpfband	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er schränkte die Bewegungsfreiheit ein (Faltenbildung an den Gelenken)	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Die Haut trocknete unter ihm aus	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Die Haut schwitzte unter ihm	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er erzeugte ein Kältegefühl	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er störte mich	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				

Wie häufig haben Sie Ihren Kompressionsstrumpf in den letzten 4 Wochen getragen?

<b>immer</b>	<b>häufig</b>	<b>regelmässig</b>	<b>selten</b>	<b>nie</b>
<input type="radio"/>				

## 6. Zufriedenheit

Wie erleben Sie die folgenden Auswirkungen Ihrer Erkrankung?

	gar nicht	etwas	mäßig	ziemlich	sehr
Ich bin mit der ärztlichen Betreuung zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich bin mit der Wirkung der medizinischen Maßnahmen (Medikamente, Strümpfe usw.) zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich bin mit dem Zustand meiner Venenerkrankung zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich kann damit umgehen, daß meine Beinerekrankung mein äußeres Erscheinungsbild beeinträchtigt	<input type="radio"/>				
Insgesamt bin ich mit meinen Beinen zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich glaube, dass die Strümpfe meine Leistungsfähigkeit verbessern	<input type="radio"/>				
Mich belasten die Beschwerden meiner Beine in meinem Alltagsleben (im Beruf, im Haushalt, in der Freizeit, beim Training und in anderer Bereichen)	<input type="radio"/>				
Mich stört der Zeitaufwand, den ich für die Behandlung meiner Beinbeschwerden benötige	<input type="radio"/>				

Was möchten Sie sonst noch berichten?

## 8 Literaturverzeichnis

- Agu, O., Baker, D., Seifalian, A., M. (2004)  
Effect of graduated compression stockings on limb oxygenation and venous function during exercise in patients with venous insufficiency.  
*Vascular* 12, 69-76
- Altenkämper, H., Felix, A., Gericke, H., E., Hartmann, M. (1991)  
Phlebologie für die Praxis 5-133  
Walter de Gruyter, Berlin
- Aunola, S., Rusko, H. (1988)  
Comparison of two methods for aerobic threshold determination  
*Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 57, 420-4
- Bays, R., A., Healy, D., A., Atnip, R., G., Neumyer, M., Thiele, B., L. (1994)  
Validation of air plethysmography, photoplethysmography, and duplex ultrasonography in the evaluation of severe venous stasis  
*J Vasc Surg.* 20, 721-7
- Bedienungsanleitung für Ebio® plus der Firma Eppendorf, Wesseling-Berzdorf, Deutschland
- Belcaro G., Cesarone M.R., Shah S.S., Nicolaidis A.N., Geroulakos G., Ippolito E., Winford M., Lennox A., Pellegrini L., Brandolini R., Myers K.A., Simeone E., Bavera P., Dugall M., Di Renzo A., Moia M. (2002)  
Prevention of edema, flight microangiopathy and venous thrombosis in long flights with elastic stockings. A randomized trial: The LONFLIT 4 Concorde Edema-SSL Study  
*Angiology* 53, 635-45
- Berg, A., Jakob, E., Lehmann, M., Dickhuth, H., H., Huber, G., Keul, J. (1990)  
Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie  
*Pneumologie* 44, 2-13
- Bernstein, E., F., Fronek, A. (1982)  
Current status of noninvasive tests in the diagnosis of peripheral arterial disease  
*Surg Clin North Am.* 62, 473-87
- Berry M.J., Bailey S.P., Simpkins L.S., TeWinkle J.A. (1990)  
The effects of elastic tights on the post-exercise response  
*Can J Sport Sci.* 15, 244-8

- Berry M.J., McMurray R.G. (1987)  
Effects of graduated compression stockings on blood lactate following an exhaustive bout of exercise  
Am J Phys Med. 66, 121-32
- Blickensdörfer, H. (1987)  
Das goldene Buch der Tour de France. Von Paris 1903 bis Berlin 1987  
Bastei-Lübbe, Bergisch Gladbach
- Boisseau M., R., Roudaut M., F., Seigneur M. et al (1995)  
Relationship between age, fibrinogen and clinical status in 313 patients with CVI  
Biorheology 32, 279
- Boldt, F., Berbalk, A., Halle, M., Hoffmann, G., Löllgen, H., Schmidt-Trucksäß, A., Urhausen, A., Völker, K., Zurstegge, M. (2002)  
Leitlinien zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin  
Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (Deutscher Sportärztebund) e.V.  
<http://www.dgsp.de/leitlinie.html>
- Bringmann, W. (1986)  
Die kardiovaskuläre Adaptation für Prävention und Therapie  
Medizin und Sport 26, 162-7
- Bucher, O., Wartenberg, H. (1997)  
Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen  
Verlag Hans Huber, Bern, Schweiz
- Busse, R. (2000)  
Gefäßsystem und Kreislaufregulation 498-560  
in: Schmidt, R., F., Thews, G., Lang, F. (Hrsg.): Physiologie des Menschen  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Campbell, W., B., Halim, A., S., Aertssen, A., Ridler, B., M., Thompson, J., F., Niblett, P., G. (1996)  
The place of duplex scanning for varicose veins and common venous problems  
Ann R Coll Surg Engl. 78, 490-3
- Coen, B. (1997)  
Individuelle anaerobe Schwelle  
Sport und Buch Strauss, Köln, Deutschland
- Coen, B., Urhausen, A., Kindermann, W. (2001)  
Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running  
Int J Sports Med 22, 8-16

- de Mareés, H. (2002)  
 Bearbeitung Heck, H., Bartmus, U.  
 Sportphysiologie, 442-83  
 Sport und Buch Strauß, Köln
- Delis K.,T., Ibegbuna V., Nicolaidis A., N., Lauro A., Hafez H. (1998)  
 Prevalence and distribution of incompetent perforating veins in chronic venous insufficiency  
 J Vasc Surg. 28(5), 815-25
- Deutsche Gesellschaft für Phlebologie (2005)  
[www.dgphome.de](http://www.dgphome.de)
- Dickhuth, H., H. (2000)  
 Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin  
 Hofmann, Schorndorf
- Dickhuth, H., H., Yin, L., Niess, A., Rocker, K., Mayer, F., Heitkamp, H.,C., Horstmann, T. (1999)  
 Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility.  
 Int J Sports Med 20,122-7
- Diehm C., Trampisch H.J., Lange S., Schmidt C. (1996)  
 Comparison of leg compression stocking and oral horse-chestnut seed extract therapy in patients with chronic venous insufficiency  
 Lancet. 3, 292-4
- Dinkel, R. (1997)  
 Venenerkrankungen – ein kostenintensives Krankheitsgeschehen  
 Phlebol. 26, 164-8
- El-Sayed, M., S. (1998)  
 Effects of exercise and training on blood rheology  
 Sports Med 26, 281-92
- Ernst, E., Sturmvoll, M., Matrai, A. (1987)  
 Blutrheologie bei Ausdauertrainierten  
 Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (Sonderheft), 47-50
- Evans C., J., Fowkes F., G., Ruckley C., V., Lee A., J. (1999)  
 Prevalence of varicose veins and chronic venous insufficiency in men and women in the general population: Edinburgh Vein Study.  
 J Epidemiol Community Health. 53(3),149-53

Feinstein, A. (2002)  
Principles of medical statistics  
Chapman & Hall/CRC, USA

Firma Bauerfeind Phlebologie GmbH & Co. KG (2004)  
<http://www.bauerfeind-phlebologie.de/>

Fischer, H. (Hrsg.) (1981)  
Venenerkrankungen – eine repräsentative Untersuchung in der Bevölkerung der  
Bundesrepublik Deutschland (Tübinger Studie)  
Urban & Schwarzenberg, München

Flügge, C., Hollmann, W., Hettinger, T., Rüter, E. (1971)  
Über den Einfluß einer längeren Benutzung von Kompressionsstrümpfen auf  
die Kraft der Beinmuskulatur  
Sportarzt und Sportmedizin 12, 287-90

Flügge, C., Schramme, C., Hettinger, T., Hollmann, W. (1976)  
Über den Trainingseinfluß auf die statische Kraft der Beinmuskulatur bei Tragen  
eines Kompressionsstrumpfes  
Phlebologie und Proktologie 1, 6-13

Gallenkemper, G., Bulling, B., J., Gerlach, H., Jünger, M., Kahle, B.,  
Klücken, N., Lehnert, W., Rabe, E., Schwahn-Schreiber, Chr. (2000)  
Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der Chronischen Venösen Insuffizienz  
(CVI). Aktualisierte Fassung  
Phlebol 4, 102-5

Gerlach, H., Hertel, T., Kahle, B., Kluess, H., G., Marshall, M., Rabe, E. (2002)  
Leitlinien zur peripheren Gefäßdiagnostik mit der direktionalen continuous-wave  
(CW) Doppler-Sonographie  
in: Grotewohl, J., H.: Angewandte Phlebologie: Lehr- und Handbuch für Praxis  
und Klinik  
Schattauer Verlag, Stuttgart, Deutschland

Gottschalk, K., Israel, S. (1986)  
Die Bedeutung des Sports für die Prävention und Therapie von  
Venenerkrankungen  
Medizin und Sport 26, 140

Graham, A., A. (1996)  
Plethysmography: safety, effectiveness, and clinical utility in diagnosing  
vascular disease  
Health Technol Assess (Rockv). 7, 1-46

- Grotewohl, J., H. (2002)  
 Angewandte Phlebologie: Lehr- und Handbuch für Praxis und Klinik  
 Schattauer Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Harms, V. (1998)  
 Biomathematik, Statistik und Dokumentation 9-235  
 Harms Verlag, Kiel-Mönkeberg
- Heck, H. (1990)  
 Laktat in der Leistungsdiagnostik  
 Hofmann, Schorndorf, Deutschland
- Hill, A., V., Lupton, H. (1923)  
 Muscular exercise, lactic acid and the supply of and utilization of oxygen  
 Quart J Med 16, 135-71
- Hollmann W. (1985)  
 Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966.  
 Int J Sports Med 6, 109-16
- Johnston, K., W., Hosang, M., Y., Andrews, D., F. (1987)  
 Reproducibility of noninvasive vascular laboratory measurements of the peripheral circulation  
 J Vasc Surg. 6, 147-51
- Jünger M., Steins A., Hahn M., Häfner H.,M. (2000)  
 Microcirculatory dysfunction in chronic venous insufficiency (CVI)  
 Microcirculation 7(6 Pt 2), 3-12
- Jünger, M., Steins, A., Zuder, D., Klyscz, T. (1998)  
 Physikalische Therapie bei Venenerkrankungen  
 Vasa 27, 73-9
- Jünger, M., Sippel, K. (2004)  
 Erkrankungen der Venen - Diagnostik und Therapieoptionen im Wandel  
 Akt Dermatol. 30, 407-17
- Jünger, M., Steins, A., Zuder, D., Klyscz, T. (1998)  
 Physikalische Therapie bei Venenerkrankungen  
 Vasa 27, 73-9
- Keul, J. (1979)  
 Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung  
 Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 7, 212-16

Kindermann, W., Simon, G., Keul, J. (1979)  
The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training.  
Eur J Appl Physiol Occup Physiol 42, 25-34

Klews, P.M. (1993)  
Physik und Technik der farbkodierten Duplexsonographie 248-295  
in: Wolf, K.J., Fobbe, F.: Farbkodierte Duplexsonographie : Grundlagen und klinische Anwendung  
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Klyscz, T. (1996)  
Aktiv gegen Venenleiden  
Falken, Niedernhausen/Ts, Deutschland

Klyscz, T., Galler, S., Steins, A., Zuder, D., Rassner, G., Junger, M. (1997)  
Einfluß einer Kompressionstherapie auf die Mikrozirkulation der Haut bei Patienten mit chronisch venöser Veneninsuffizienz  
Hautarzt 48, 806-11

Klyscz, T., Jünger, M., Junger, I., Hahn, M., Steins, A., Zuder, D., Rassner, G. (1997)  
Gefäßsport zur ambulanten Therapie venöser Durchblutungsstörungen der Beine  
Hautarzt 48, 384-90

Klyscz, T., Junger, M., Schanz, S., Janz, M., Rassner, G., Kohnen, R. (1998)  
Quality of life in chronic venous insufficiency (CVI). Results of a study with the newly developed Tübingen Questionnaire for measuring quality of life of patients with chronic venous insufficiency  
Hautarzt 49, 372-81

Kügler, C., Strunk, M., Rudofsky, G. (1999)  
Bedeutung einer eingeschränkten Gelenkbeweglichkeit für den Blutabstrom aus gesunden Beinvenen  
Phlebol. 28, 16-22

Lepantalo, M., Lindfors, O., Pekkola, P. (1983)  
The ankle/arm systolic blood pressure ratio as a screening test for arterial insufficiency in the lower limb  
Ann Chir Gynaecol. 72, 57-61

Mader et al. (1976)  
Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor  
Sportarzt und Sportmedizin 27, 80-88; 109-112

Matic M., Duran V., Ivkov-Simic M., Poljacki M., Gajinov Z., Begenisic M. (2000)  
Microcirculatory changes in chronic venous insufficiency  
Med Pregl. 53(11-12), 579-83

- McMullin, G., M., Coleridge-Smith, P., D. (1992)  
An evaluation of Doppler ultrasound and photoplethysmography in the investigation of venous insufficiency  
Aust N Z J Surg. 62, 270-5
- Mosti, G., Labichella, M., L., Picerni, P., De Marco, G. (2000)  
Quantification of venous reflux by means of some duplex scanner and light reflection rheography parameters and its correlation with chronic venous insufficiency symptoms  
Minerva Cardioangiol. 48, 331-9
- Motykie, G., D., Caprini, J., A., Arcelus, J., I., Reyna, J., J., Overom, E., Mokhtee, D. (1999)  
Evaluation of therapeutic compression stockings in the treatment of chronic venous insufficiency.  
Dermatol Surg. 25(2), 116-20
- Onorati D., Rossi G.G., Idiazabal G. (2003)  
Effect of elastic stockings on edema related to chronic venous insufficiency. Videocapillaroscopic assessment  
J Mal Vasc. 28, 21-3
- Pero System Messgeräte GmbH (2004)  
[www.pero-system.de](http://www.pero-system.de)
- Peschen, M., Thimm, C., Lüchtenberg, V., Keul, J., Vanscheidt, W. (1996)  
Varizen und Leistungssport  
Phlebologie 25, 100-103
- Pfitzinger, P., Freedson, P., S. (1998)  
The reliability of lactate measurements during exercise  
Int J Sports Med 19, 349-57
- Platen, P. (2001)  
Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit  
in: Rost, R. (Hrsg.): Lehrbuch der Sportmedizin, 48-66  
Deutscher Ärzteverlag, Köln
- Pocard, M. (1997)  
Varicose veins and methods used to cut them: from the Ebers papyrus to Trendelenburg  
Ann Chir 51, 710-2

Rabe, E. (Hrsg.) (2003)  
Grundlagen der Phlebologie 142-150  
Viavital Verlag, Köln

Rabe, E., Gerlach, H., E. (Hrsg.) (2000)  
Praktische Phlebologie : Empfehlungen zur differenzierten Diagnostik und  
Therapie phlebologischer Krankheitsbilder 1-119  
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Rabe, E., Pannier-Fischer, F., Broman, K., Schuldt, K., Stang, A., Poncar, Ch.,  
Wittenhorst, M., Bock, E., Weber, S., Jöckel, K., H. (2003)  
Bonner Venenstudie der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie  
Phlebol. 32, 1-14

Ramelet, A., A. (2002)  
Compression therapy  
Dermatol Surg. 28, 6-10

Rau, H., Pauli, P. (1995)  
Medizinische Psychologie/Medizinische Soziologie systematisch  
UNI-MED Verlag, Lorch

Rauschenbach, M. (2005)  
Einfluss der Kompressionstherapie bei Radfahrern mit nachgewiesener  
Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und  
Laktatspiegel  
Dissertation , Universität Tübingen

Recek C. (2004)  
The venous reflux  
Angiology. 55(5), 541-8

Robergs, R., A., Chwalbinska-Moneta, J., Mitchell, J., B., Pascoe, D., D.,  
Houmard, J., Costill, D., L. (1990)  
Blood lactate threshold differences between arterialized and venous blood.  
Int J Sports Med 11, 446-51

Röcker, K. (2004)  
Ergonizer© - Sportmedizinische Analysesoftware für Laktatleistungsdiagnostik  
[www.ergonizer.de](http://www.ergonizer.de)

Röcker, K., Dickhut, H., H. (2001)  
Praxis der Laktatmessung  
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 52, 33-4

Röcker, K., Niess, A., Heitkamp, H., C., Horstmann, T., Mayer, F., Dickhuth, H., H. (1995)

Die Bestimmung der Dauerleistungsgrenze im Laufbandmehrstufentest:  
Statistische Bewertung von Routineuntersuchungen  
in: W. Kindermann, K. Schwarz, Hrsg.: Bewegung und Sport – eine  
Herausforderung für die Medizin, 78  
Verlag Ciba-Geigy, Wehr

Röcker, K., Schotte, O., Niess, A., Heitkamp, H., C., Dickhuth, H., H. (1998)  
Predicting competition performance in long-distance running by means of a  
treadmill test  
Med Sci Sports Exerc 30, 1552-7

Ruff, D. (2003)  
Doppler assessment: calculating an ankle brachial pressure index  
Nurs Times. 99 (42), 62-5

Schall, K. (2000)  
Validierung des Tübinger Lebensqualitätsfragebogens (TLQ-CVI-97) durch  
vergleichende Untersuchungen bei Patienten mit chronischer Veneninsuffizienz,  
Neurodermitis und Coxarthrose  
Dissertation., Universitätshautklinik Tübingen

Schauer, J., Schleußing, G., Voigt, H. (1990)  
Bewegungstherapie bei Herz-Kreislauf- und Lungenkrankheiten  
J. A. Barth, Leipzig, Deutschland

Schultheiss, R., Billeter, M., Bollinger, A., Franzeck, U., K. (1997)  
Comparison between clinical examination, cw-Doppler ultrasound and colour-  
duplex sonography in the diagnosis of incompetent perforating vein  
Eur J Vasc Endovasc Surg. 13, 122-6

Schultz-Ehrenburg, U., Blazek, V. (2001)  
Value of quantitative photoplethysmography for functional vascular diagnostics.  
Current status and prospects  
Skin Pharmacol Appl Skin Physiol. 14, 316-23

Shepard, R., J. (1993)  
Muskuläre Ausdauer und Blutlaktat  
In: Shepard, R., J., Åstrand, P., O. (Hrsg.):  
Ausdauer im Sport Köln, 212 – 221

Silbernagl, S., Lang, F. (1998)  
Taschenatlas der Pathophysiologie, 243  
Thieme, Stuttgart, Deutschland

Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H., H., Simon-Alt, A., Keul, J. (1981)  
Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit von Alter und von der  
Leistungsfähigkeit  
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 32, 7-14

Sjoedin, B., Jacobs, I. (1981)  
Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance  
Int J Sports Med, 2, 23-6

Somjen, G., M., Royle, J., P., Tong, Y., MacLellan, D., G. (1993)  
Duplex scanning and light reflection rheography in the assessment of the  
severity of short saphenous vein incompetence  
J Dermatol Surg Oncol. 19, 635-8

Stegmann, H., Kindermann, W., Schnabel, A. (1981)  
Lactate kinetics and individual anaerobic threshold  
Int J Sports Med 2, 160-165

Stiegler, H., Rotter, G., Standl, R., Mosavi, S., von Kooten, H., J., Weichenhain,  
B., Baumann, G. (1994)  
Value of color duplex ultrasound in diagnosis of insufficiency of perforant  
veins. A prospective study of 94 patients  
Vasa. 23, 109-13

Stöberl, C., Gabler, S., Partsch, H. (1989)  
Indikationsgerechte Bestrumpfung – Messung der venösen Pumpfunktion  
Vasa 18, 35-9

Taheri S., A., Weaver T., A., Schultz R., O. (1993)  
Genetic alterations in chronic venous insufficiency  
Int Angiol. 12(1),1-4

Tan, K., H., De Cossart, L., Edwards, P.,R. (2000)  
Exercise training and peripheral vascular disease  
Br J Surg 87, 553-62

Thulesius O. (1996)  
The venous wall and valvular function in chronic venous insufficiency  
Int Angiol. 15(2),114-8

Van Limbrough, J. (1965)  
Anatomie der Vv. communicantes  
Zbl. Phlebol 4, 268-71

Vayssairat M., Ziani E., Houot B. (2000)  
Placebo controlled efficacy of class 1 elastic stockings in chronic venous  
insufficiency of the lower limbs J Mal Vasc. 25, 256-62

- Venerando, A., Pellicia, A. (1983)  
Physiological adaption of the venous system in sportsmen  
J Sports Medicine 23, 1-7
- Veraart, J., Prins, M., Hulsmanns, R., Neumann, H. (1994)  
Influence of endurance exercise on the venous refilling time of the leg  
Phlebologie 23, 120-3
- Vollert, B. (2000)  
Wirksamkeit, Compliance und Lebensqualität in der Kompressionstherapie  
Dissertation, Universitätshautklinik Tübingen
- Wassermann, K., Whipp, B., J., Koyal, S., N., Beaver, W., L. (1973)  
The anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise  
J Appl Physiol 35, 236-43
- Weidinger, P., Bachl, N. (1987)  
Therapie der Venopathien durch Gefäßtraining  
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin (Sonderheft) 38, 60-9
- Weiss, R., A. (1993)  
Evaluation of the venous system by Doppler ultrasound and  
photoplethysmography or light reflection rheography before sclerotherapy  
Semin Dermatol. 12, 78-87
- Werner, E. (2001)  
Sporttherapie mit präventiven Venensportgruppen am Wohnort  
Dissertation, Heidelberg
- Wienert V., Waldermann F., Zabel M, Rabe E., Jünger M. (2004)  
Leitlinien zum Medizinischen Kompressionsstrumpf (MKS)  
AWMF Leitlinienregister Nr. 037/004 Entwicklungsstufe 1
- Wills, V., Moylan, D., Chambers, J. (1998)  
The use of routine duplex scanning in the assessment of varicose veins  
Aust N Z J Surg. 68, 41-4



## 9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit behilflich waren.

Herrn PD Dr. Matthias Möhrle danke ich für die Überlassung dieser Arbeit und die freundliche Betreuung bei Ausarbeitung und Erstellung der Dissertation.

Bei Herrn cand. med. Matthias Rauschenbach möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit im Rahmen dieser Dissertation und die Unterstützung bei Vorbereitung und Durchführung der Messungen bedanken.

Frau PD Dr. Anke Strölin und allen ärztlichen und wissenschaftlichen Mitarbeitern der angiologischen Ambulanz der Universitätshautklinik Tübingen möchte ich für die Durchführung der Voruntersuchungen sowie die fachliche Beratung und Hilfestellung danken.

Dank sagen möchte ich auch Herrn Dr. Christian Venter und PD Dr. Hans-Christian Heitkamp für die kompetente und unkomplizierte Hilfe bei allen sportmedizinischen Fragestellungen, ebenso allen Mitarbeitern der Sportmedizinischen Ambulanz für die Einarbeitung in die Praxis der Belastungsuntersuchung und die Hilfsbereitschaft, die uns entgegengebracht wurde.

Für die Beratung bei der statistischen Auswertung herzlichen Dank an Herrn Dr. rer. nat. Dipl. Biol. Martin Eichner und Dr. Hans-Martin Häfner.

Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, Siegfried und Magdalene Kemmler, für die Unterstützung während meines Studiums und der Dissertationserstellung bedanken, ebenso bei meiner Schwester, Frau Dr. Andrea Forschner, für die Durchsicht des Manuskriptes.

Für die Übernahme der Zweitkorrektur herzlichen Dank an Herrn Professor Dr. Andreas Niess.



## **Lebenslauf**

Am 24.06.1980 wurde ich, Johannes Christoph Kemmler, in Reutlingen als viertes von fünf Kindern von Magdalene Kemmler und Siegfried Kemmler geboren.

### **Schulische Ausbildung**

1986 - 1990	Besuch der Schlossschule, Gomaringen
1990 - 1999	Besuch des Isolde-Kurz-Gymnasiums, Reutlingen
1999	Abitur

### **Zivildienst und Praktika**

1999 -2000	Zivildienst im Altenpflegeheim Siloah, Bad Krozingen
2000	Krankenpflegepraktikum in der Tropenlinik Paul-Lechler-Krankenhaus, Tübingen

### **Studium**

seit WS 2000 / 2001	Studium der Humanmedizin an der Eberhard-Karls-Universität, Tübingen
16.09.2002	Ärztliche Vorprüfung
23.09.2003	1. Staatsexamen
2003 - 2005	Famulaturen in Innerer Medizin (Reutlingen, Freilassing), Unfallchirurgie (Kitzbühel, Österreich), Neurologie (Karlsruhe) und HNO (Glasgow, Schottland)
12.09.2005	2. Staatsexamen
2005 - 2006	Praktisches Jahr am Klinikum Friedrichshafen
28.11.2006	3. Staatsexamen