



HEVs

haute école valaisanne
hochschule wallis

EINFLUSS VON KOMPRESSIONS BANDAGEN AUF DAS LAKTATVERHALTEN UND DIE ERHOLUNG NACH MAXIMALEN KURZINTENSIVEN BELASTUNGEN

FLAVIA FREIDIG

Studentin HES – Studiengang Physiotherapie

Direktor der Diplomarbeit : ROGER HILFIKER

**NIEDERGELEGT UND VERTEIDIGT IM JAHRE 2006 IN HINSICHT AUF DEN ERHALT DES
DIPLOMS FÜR PHYSIOTHERAPEUTIN HES**

**Fachhochschule Wallis für Gesundheit und soziale Arbeit
Studiengang Physiotherapie**

Hes·so
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Roger Hilfiker, meinem Direktor der Diplomarbeit, für seine grosse Hilfe und Unterstützung bedanken. Ein sehr grosser Dank geht auch an Kurt und Ingeborg Jordan, die mir bei der Durchführung der Tests geholfen haben. Für die grosszügig zur Verfügung gestellten Räume und die nötigen Mittel für die Durchführung der Tests möchte ich Hr. Dr. Spring herzlich danken. Meinen verständnisvollen, einsatzfreudigen und motivierten Probandinnen und Probanden möchte ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen für ihre Teilnahme an der Studie.

Lieve de Rouck, Sonja Schneider und meiner Mutter möchte ich für die kritische Durchsicht meiner Arbeit danken.

Mein Dank geht auch an Simon Trachsel und Christoph Stämpfli, sowie an die vier BOSV-Langläufer, die mir bei meinem im Vorfeld durchgeführten Feldversuch geholfen haben.

Meiner Familie und meinen Freunden möchte ich für die Hilfe und moralische Unterstützung, die manchmal nötig war, ganz herzlich danken.

Zusammenfassung

HYPOTHESE: Eine Kompressionsbandage mit Kurzzugbinden bewirkt während aktivem Ausfahren nach einer maximalen kurzintensiven Belastung eine erhöhte Blutflussgeschwindigkeit, wodurch die Laktatkonzentration mit Bandage im Blut schneller abnimmt als ohne Bandage und somit die Regeneration des Muskels fördert. **ZIEL:** Das Ziel dieser Studie war herauszufinden, welchen Einfluss eine Kompressionsbandage auf das Laktatverhalten nach maximalen kurzintensiven Belastungen hat. **METHODE:** 20 freiwillige, gesunde Probanden nahmen an der Studie teil. Die Charakteristiken der Population waren (Mean [SD, Range]): Alter 29.9 Jahre [SD 9.5, 21 bis 50], Grösse 172.4 cm [SD 11.0, 146 bis 189], Gewicht 67.7 kg [SD 67.7, 47 bis 89]. Die durchschnittliche maximale Wattleistung betrug 311.5 Watt [SD 94.9, 150 bis 440]. Im Vorfeld der Tests wurde ein Conconi-Test durchgeführt, um die anaerobe Schwelle herauszufinden. Nach 5 min Einfahren (40 % der anaeroben Schwelle), folgte eine 2-minütige maximale Belastung (90 % der maximalen Wattleistung), anschliessend wurde während 20 min mit 40 % der anaeroben Schwelle ausgefahren. In dieser Erholungspause trugen die Probanden in einem Testdurchlauf eine Bandage, im zweiten Testdurchlauf keine. Danach folgten der 2. maximale Sprint und das 2. Ausfahren während 20 min. Das Blutlaktat wurde an der Fingerkuppe entnommen (vor dem Einfahren, 3 min nach dem Sprint, dann alle 5 min). Die Herzfrequenz wurde ebenfalls zu diesen Zeitpunkten gemessen. **RESULTATE:** Die mittlere Laktatabnahme während dem Ausfahren „mit Bandage“ war verglichen mit „ohne Bandage“ statistisch nicht signifikant (Mean -0.19 mmol/L, 95 % Konfidenzintervall [KI] -0.58 bis 0.19). **FAZIT:** In der vorliegenden cross-sectional Studie konnte kein signifikanter Unterschied in der Laktatabnahme beim Tragen mit oder ohne Kompressionsbandage während dem Ausfahren erwiesen werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Laktatwerte der schwächeren Leistungsgruppe gesamthaft höher liegen als die der stärkeren Leistungsgruppe. Ein möglicher Einfluss des Alters äussert sich in tieferen Laktatwerten bei der älteren Leistungsgruppe. Die Halbwertszeiten sowohl mit als auch ohne Bandage liegen deutlich unter dem angegebenen Sollwert von Heck (1990), was auf einen günstigen Effekt des aktiven Ausfahrens schliessen lässt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1. Problematik	6
1.1.1. Wirkungsweise von Kompressionsstrümpfen	6
1.1.1.1. <i>Kompression und venöse Insuffizienz</i>	6
1.1.1.2. <i>Kompression und Operationen</i>	9
1.1.1.3. <i>Kompression und Sport</i>	9
1.1.2. Laktatverhalten bei intensiven Belastungen	10
1.1.2.1. <i>Bildung von Laktat</i>	10
1.1.2.2. <i>Abbau von Laktat</i>	11
1.1.3. Einfluss von Belastung auf die Herzfrequenz (HF)	13
1.1.3.1. <i>Herzfrequenz in Ruhe</i>	13
1.1.3.2. <i>Herzfrequenz bei Belastung</i>	13
1.2. Hypothese / Ziele	14
1.2.1. Ziele	14
1.2.2. Hypothese	14
1.3. Persönliche Motivation	14
2. Methode	15
2.1. Feldversuch	15
2.2. Population	15
2.2.1. Einschlusskriterien	16
2.2.2. Ausschlusskriterien	16
2.3. Administration	16
2.3.1. Informationsbrief	16
2.3.2. Einverständniserklärung	16
2.3.3. Checkliste für die Probanden	16
2.3.4. Protokoll für den Ablauf	16
2.3. Messinstrumente	17
2.3.1. halbelastische Kurzzugbinden „Comprilan“ von Beiersdorf	17
2.3.2. Fahrradergometer Ergometrics 800 von Ergoline im SOMC Leukerbad	17
2.3.3. Laktatgerät (YSI Modell 1500L Laktat Analysator)	18
2.3.4. Pulsuhren von Polar Sporttester 4000	18
2.3.5. Borgskala	18
2.3.6. Conconi-Test	18
2.3.6.1. <i>Durchführungsmodalitäten</i>	19
2.3.6.2. <i>Wertung des Conconi-Tests – Probleme</i>	19
2.4. Testverfahren	19
2.5. Statistik	21
3. Resultate	22
3.1. Population	22
3.2. Laktat	22
3.2.1. Mittelwerte Laktat mit und ohne Bandage (alle Messungen)	22
3.2.2. Laktatabbau nach den Sprints	23
3.2.2.1. <i>Laktatabbau nach Sprint 1</i>	23
3.2.2.2. <i>Laktatabbau nach Sprint 2</i>	23
3.2.3. Laktatmaxima drei Minuten nach den Sprints	24
3.2.3.1. <i>Laktatmaximum nach Sprint 1 und 2 (mit Bandage)</i>	24
3.2.3.2. <i>Laktatmaximum nach Sprint 1 und 2 (ohne Bandage)</i>	24
3.3. Herzfrequenz	25
3.3.1. Mittelwerte Herzfrequenz	25
3.4. Übersicht aller Resultate	26

3.4.1. Laktat.....	27
3.4.2. Herzfrequenz	27
3.5. Explorative Datenanalyse.....	29
3.5.1. Einfluss des Alters auf die Laktatmittelwerte mit und ohne Bandage	29
3.5.2. Einfluss des Trainingszustandes auf die Laktatmittelwerte	30
3.5.3. Halbwertszeiten nach Heck (1990)	30
3.5.3.1 Laktatwerte nach 15 min Ausfahren mit Bandage (nach 1. Sprint)	31
3.5.3.2. Laktatwerte nach 15 min Ausfahren mit Bandage (nach 2. Sprint)	31
3.5.3.3. Laktatwerte nach 15 min Ausfahren ohne Bandage (nach 1. Sprint)	32
3.5.3.4. Laktatwerte nach 15 min Ausfahren ohne Bandage (nach 2. Sprint)	32
4. Diskussion	34
4.1. Population.....	34
4.2. Kompression und Einfluss auf das Laktatverhalten.....	34
5. Fazit.....	41
6. Literaturverzeichnis.....	42

1. Einleitung

1.1. Problematik

Im Sport wird häufig die Erholung als wichtige Massnahme zur Leistungssteigerung diskutiert. Über die bestmögliche Intervention haben nicht immer alle die gleiche Meinung. Häufig sind die Massnahmen individuell abgestimmt oder nach Gutdünken festgelegt. Eine Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit im Spitzensport scheint nur noch unter gezielter Einsetzung allgemeiner und spezifischer Wiederherstellungsmethoden und –massnahmen möglich, da die heutigen Trainingsmethoden und –massnahmen bereits optimal entwickelt sind und eine weitere Steigerung von Umfang und Intensität kaum mehr zu verwirklichen ist (Weineck 2004). Die Erholung stellt einen wichtigen Faktor für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit dar. Der Laktatabbau steht häufig im Zusammenhang mit der Erholung eines Athleten (Gmada et al. 2005, Baldari et al. 2005, Messonnier et al. 2001, Monedero/Donne 2000, Ahmaidi et al. 1996, Lampert et al. 1996, Thiriet et al. 1993). In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, welchen Einfluss eine Kompressionsbandage auf das Laktatverhalten nach Sprints hat. Nachfolgend wird die Wirkungsweise von Kompressionsstrümpfen, die Bildung und der Abbau von Laktat wie auch die Herzfrequenz näher erläutert.

1.1.1. Wirkungsweise von Kompressionsstrümpfen

1.1.1.1 Kompression und venöse Insuffizienz

Die Anwendung von medizinischen Kompressionsstrümpfen (MKS) der unteren Extremität wird therapeutisch häufig verwendet, um den venösen Rückfluss zu verbessern. MKS kommen vor allem bei einer chronisch venösen Insuffizienz zum Einsatz (Földi/Kubik 2002). Flüssigkeiten lassen sich durch Druck nicht komprimieren (Asmussen/Strössenreuther 2002). In Gefässen, wie die Blutbahnen, können Flüssigkeiten bei Kompression ausweichen. Medizinische Druckanwendungen erzielen in erster Linie einen Effekt auf die Gefässsysteme. Kompressionstherapie verengt die Venen, wodurch es zu hämodynamischen Veränderungen kommt (Partsch/Partsch 2005).

Eine Studie beobachtete den notwendigen externen Druck, bis sich die Beinvenen in verschiedenen Positionen (liegend, sitzend und stehend) verengen oder verschliessen. Es wurde gezeigt, dass eine Verengung bei einem mittleren Druck von 30-40 mmHg in sitzender und stehender Position erfolgt. Ein kompletter Verschluss der oberflächigen und tiefen Beinvenen tritt bei 20-25 mmHg in liegender, bei 50-60 mmHg in sitzender und bei 70mmHg

in stehender Position ein. Also muss der externe Druck den hydrostatischen Druck in der Vene überschreiten, um die Beinvenen effizient zu komprimieren (Partsch/Partsch 2005).

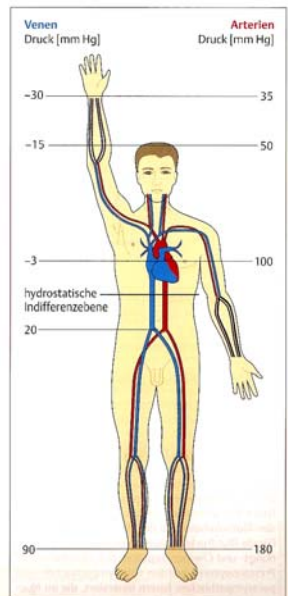


Abb. 1 Druckverhältnisse in Arterien und Venen beim stehenden Menschen (Wehrstein 2000)

Kompression hat verschiedene Einflüsse auf die Hämodynamik. Es kommt zu einer Beschleunigung und Steigerung des venös-lymphatischen Abstroms. Die Lumeneinengung der Gefässe unter Kompression führt bei unverändertem Zustrom zu einer erhöhten Geschwindigkeit des Blutflusses. Ein Kompressionsverband steigert die venöse Strömungsgeschwindigkeit um das 1.5fache (Asmussen/Strössenreuther zitieren Lofferer/ Mostbeck/Partsch 1978, in: Lehrbuch der Lymphologie). Auch in den Blutkapillaren erhöht sich dadurch die Flussgeschwindigkeit des Blutes. Mayberry et al. (1991) hingegen fanden in einer Studie keine Verbesserung der tiefen venösen Hämodynamik durch elastische Kompressionsstrümpfe bei Patienten mit tiefer Veneninsuffizienz.

Abb. 1 zeigt die Druckverhältnisse in Arterien und Venen. In den Füßen herrscht der grösste hydrostatische Druck, deshalb üben MKS

bei den Malleolen den grössten Druck aus. Die degradierenden Druckverhältnisse der MKS begünstigen die Blutflussgeschwindigkeit. Wie Földi et al. beschreiben (2002), beträgt der Venendruck im Stehen auf Höhe der Fussknöchel ca. 108 mmHg. In Bewegung sinkt der Fussvenendruck auf 25 mmHg. Die Blutflussgeschwindigkeit in den distalen Venolen beträgt ca. 0.02-0.1 cm/s und nimmt Richtung Herz wieder bis zu 10 cm/s zu (Faller 1999).

Die Herzfrequenz (HF) verändert sich beim Tragen von MKS. Eine Kompression der unteren Extremitäten führt zu einer Flüssigkeitsverlagerung in zentrale Körperabschnitte und somit zu einer Zunahme der Vorlast (erhöhter venöser Rückstrom), des Herzzeitvolumens (Pumpleistung des Herzens) sowie der Diurese (renale Ausscheidung) (Asmussen/Strössenreuther zitiert Partsch 1958, in: Lehrbuch der Lymphologie). Watanuki/Murata (1994) untersuchten den Einfluss von MKS auf die kardiovaskulären Reaktionen. Der Herzauswurf war in stehender Position mit MKS kleiner als in liegender Position. Sie vermuten, dass der venöse Rückfluss zum Herzen durch MKS verbessert wird.

Die Muskulatur kann das Venensystem ebenfalls durch die so genannte Muskelpumpe unterstützen. Durch die Muskelaktivität werden die Beinvenen rhythmisch komprimiert und das Blut ausgedrückt (Wehrstein 2000). Das Tragen von MKS begünstigt dieses Phänomen, da der sich kontrahierende Muskel durch Volumenzunahme dem Widerstand der Bandage entgegengesetzt (Arbeitsdruck, Abb. 2).

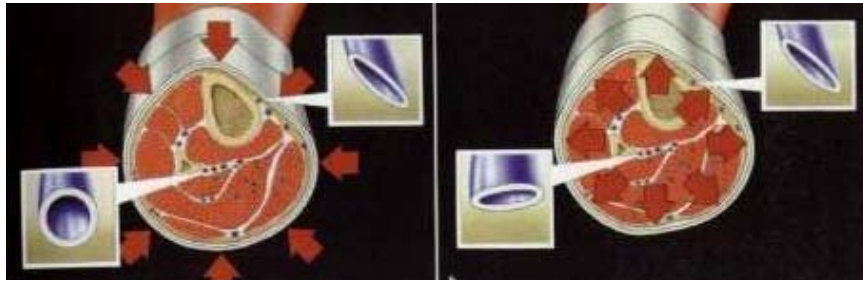


Abb. 2 Ruhedruck und Arbeitsdruck. Schnitt durch die Wade mit Verband
 rechts: Ruhedruck: die oberflächlichen Venen werden eingeengt, während die tiefen Venen weitgehend unbeeinflusst bleiben
 links: Arbeitsdruck: der sich ausdehnende, arbeitende Muskel drückt von innen gegen den Widerstand der Kurzzugbinde und engt das Lumen sowohl der oberflächlichen als auch der tiefen Venen und Lymphgefäße ein (aus Asmussen/Strössenreuther 2002).

Durch den Druck erhöht sich der Gewebedruck und die Gefäße werden sowohl im oberflächlichen als auch im tiefen Venen- und Lymphsystem zusammengedrückt. Die Effizienz der Muskelpumpe wird signifikant erhöht, weil sich die Venen in der Entspannungsphase des Muskels auffüllen können und dann durch den Arbeitsdruck ausgepresst werden (Asmussen/Strössenreuther 2002). Maton et al. (2006) fanden heraus, dass sich das Verhältnis des intramuskulären Drucks zur Muskelaktivität mit MKS erhöht, was folglich zu einem vergrößerten venösen Rückfluss während willkürlicher Muskelkontraktionen führt. Die Studie von Higgs/Uglow/Fail (2004) untersuchte, welchen Einfluss die Muskelpumpe und MKS auf die Venenflussgeschwindigkeit haben. Sie fanden heraus, dass die Muskelpumpe ohne Kombination mit MKS eine grössere Venenflussgeschwindigkeit bewirkt (um 34% grösser).

In der Kompressionstherapie gibt es verschiedene Kompressionsmittel: kompressive Binden und Kompressionsstrümpfe (Asmussen/Strössenreuther 2002). Unelastische Bandagen sind bei Patienten mit Venenulzera effizienter als elastische Bandagen, um tiefe venöse Rückflüsse zu reduzieren (Partsch/Menzinger/Mostbeck 1999). Spence und Cahall (1996) fanden ebenfalls heraus, dass sich unelastische Kompression effizienter auf die tiefe venöse Hämodynamik auswirkt, indem sie den venösen Rückfluss (nach distal) vermindern. Auch die Pumpfunktion der Wadenmuskeln wird verbessert (Spence/Cahall 1996). Partsch et al. (2002) fanden keine signifikante Reduktion des venösen Gefässdurchmessers und des venösen Rückflusses (nach distal) mit MKS der Klasse II (23-32 mmHg). Hingegen konnte mit einem Druck von 40-60 mmHg auf den Oberschenkel durch Kurzzugbandagen eine Verbesserung der Hämodynamik, insbesondere ein reduzierter Rückfluss bei Patienten mit weit fortgeschrittener chronisch venöser Insuffizienz erzielt werden. Die Studie von Igebunda/Delis/Nicolaides (1997) zeigt auf, dass sowohl die Menge an venösem Rückfluss als auch das venöse Volumen bei Frauen mit Varizen mit MKS der Stärke 7, 10 und 14 mmHg

(am Fussknöchel) abnehmen. Es besteht ein signifikanter Effekt auf die venöse Hämodynamik.

1.1.1.2. Kompression und Operationen

Nebst dem Gebrauch von MKS bei venösen Insuffizienzen, werden diese auch nach Hüftoperationen eingesetzt, um Thrombosen und Embolien vorzubeugen. MKS mindern signifikant das Risiko von venösen Thrombosen und Embolien (Wells/Lensing/Hirsh 1994). Bei generellen chirurgischen Patienten reduzieren MKS zu 64 %, bei Patienten mit Hüftprotheseimplantat zu 57 % das Risiko an einer tiefen Venenthrombose zu erkranken (Agu/Hamilton/Baker 1999).

1.1.1.3. Kompression und Sport

Es ist daher etwas ungewöhnlich MKS in einem anderen Gebiet als in der Medizin zu verwenden. In der Sportlerwelt kommen sie jedoch auch zum Einsatz. Zum Beispiel bei der Marathonläuferin Paula Radcliff oder bei Bergläufern, die dem Gefühl der „schweren Beine“ vorbeugen wollen.

Wissenschaftlich untersucht wurden MKS im Zusammenhang mit sportlicher Belastung in einer Studie von Chatard et al. (2004). Mit 63-jährigen Velofahrern versuchten sie die Leistung zwischen zwei maximalen Belastungen zu verbessern und den Beinschmerz zu lindern. Nach 5-minütiger maximaler Belastung folgte eine 80-minütige passive Erholung, in welcher die Probanden in einem Testdurchlauf MKS (39.6 mmHg Malleolen, 21.6 mmHg Wade, 15.3 mmHg Oberschenkel) trugen und im anderen nicht. Die Blutlaktatkonzentration wie auch der Hämatokrit sind mit MKS signifikant vermindert gewesen. Die Konsequenz war eine gesteigerte Leistung bei der zweiten Belastung.

In einer Studie von Berry/McMurray (1987) wurden die MKS (18 mmHg Malleolen, 8 mmHg Wade) während drei verschiedenen Tests getragen: intensive Belastung, intensive Belastung und in der Pause oder gar nicht. Es resultierten tiefere Laktatwerte mit MKS. Sie vermuten, dass das Laktat während der Kompression durch den Muskel zurückgehalten wird und folglich weniger Laktat in die Blutbahn strömt.

Das Tragen von Stützstrümpfen ist in verschiedenen Sportarten nach intensiven Trainingseinheiten in letzter Zeit verbreitet. Die wissenschaftliche Evidenz ist jedoch gering (Villiger et al. 2005). Villiger et al. vermuten, dass das Potenzial zur Erholungsförderung verkannt wird, weil das Tragen von Stützverbänden nicht als „sexy“ bezeichnet werden kann.

1.1.2. Laktatverhalten bei intensiven Belastungen

1.1.2.1. Bildung von Laktat

Laktat wird immer gebildet und fortlaufend eliminiert. Selbst im Ruhezustand können im arteriellen Blut des Ohrläppchens oder der Fingerkuppe geringe Laktatwerte (ca. 1mmol/L) gemessen werden (Haas 2000). Hingegen steigt bei intensiven Belastungen der Blutlaktatspiegel als Ausdruck eines verstärkten anaeroben Abbaus von Glykogen und Glukose an (Haas 2000).

In den ersten 30 Sekunden zu Beginn jeder Belastung werden die energiereichen Phosphate Adenintriphosphat (ATP) und Kreatinphosphat (KP) zur Energiegewinnung eingesetzt (Klinke/Silbernagel 2001). Dauert die Belastung länger an, werden Kohlenhydrate (KH) als Energiequelle genutzt. Da die geringen Sauerstoffvorräte der Zelle (myoglobingebundener Sauerstoff) schnell aufgebraucht sind, sinkt der intrazelluläre Sauerstoffdruck rasch ab. Dieser Vorgang begünstigt die Umwandlung von Pyruvat in Laktat (Klinke/Silbernagel 2001). Laktat ist das Endprodukt der anaeroben Glykolyse. Bei Sauerstoffmangel lässt sich dadurch Energie produzieren, indem Muskelglykogen zu Laktat abgebaut wird. Der Energiegewinn der anaeroben Glykolyse fällt, verglichen mit der aeroben Glykolyse, gering aus (Schürch 1987). Diese anaerobe Glykolyse gewährleistet eine Energiezufuhr für weitere 30 Sekunden, danach kann der Kreislauf genügend Sauerstoff herantransportieren. Mit Hilfe des Sauerstoffs wird der Energiebedarf über den aeroben Glykogenabbau gedeckt. Sobald die Speicher in den Muskeln an Glykogen erschöpft sind, wird aus dem Blut Substrat nachgeliefert, das aus der Leber (Glykogenolyse) stammt. Auch durch die Nahrungsaufnahme kann der muskuläre Energiebestand erhöht werden. Damit es nicht zu einer Glucoseunterversorgung im Gehirn kommt, wird die Lipolyse der Fettdepots angekurbelt, was zu einer Energiegewinnung aus freien Fettsäuren führt. Unter aeroben Bedingungen erfolgt ebenfalls ein Weiterabbau des Laktats über das Pyruvat zum Zitronensäurezyklus. Bei einer lang andauernden Arbeit wird die Gluconeogenese aus Laktat und Aminosäuren in der Leber gestartet. Die Substratversorgung des Muskels wird also durch mehrere nacheinander geschaltete Prozesse aufrechterhalten. Abb. 3 zeigt zu welchem Zeitpunkt welche Energieversorgung genutzt wird.

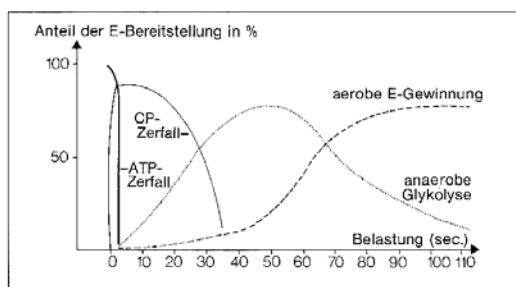


Abb. 3 Der Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung (Weineck in Anlehnung an Keul/Doll/Keppler 1969, in *Optimales Training*)

Die Menge an produziertem Laktat hängt vom Schweregrad der Arbeit, der Art der rekrutierten Muskelfasern und vom Trainingszustand des Betreffenden ab (Klinke/Silbernagel 2001).

Bereits bei geringer Belastung steigt die Laktatkonzentration im Blut an. Sobald ca. 60-65 % der maximalen Leistungsfähigkeit erreicht sind, steigt der Laktatspiegel steil an, wobei Konzentrationen von 4 mmol/L schnell überschritten werden (Klinke/Silbernagel 2001).

Tesch und Karlsson (1984) konnten anhand einer Studie zeigen, dass die Laktatkonzentration nach hochintensiven Belastungen in Fast-twitch-Fasern (FT, schnelle Fasern) grösser war als in Slow-twitch-Fasern (ST, langsame Fasern). Die intramuskuläre Laktatverwertung geschieht über den so genannten Laktat-Shuttle (Klinke/Silbernagel 2001). Das vorwiegend in den weissen Fasern (FT-Fasern) produzierte Laktat gelangt durch Diffusion in das Zytosol benachbarter roter Fasern (ST-Fasern). Von dort wird es ins Innere der Mitochondrien geschleust, wird zu Pyruvat oxidiert und kann dann energetisch genutzt werden. Dieser Laktat-Shuttle nutzt den grössten Teil des Laktats direkt, ohne dass das Laktat ins Blut gelangt. Beim trainierten Athlet ist die Mitochondrienanzahl grösser, wodurch Laktat vermehrt genutzt werden kann, auch dasjenige, das über die Blutbahn wieder an den arbeitenden Muskel heran transportiert wird. Dies erklärt den unterschiedlichen Verlauf der Laktatkonzentration von besseren und weniger gut trainierten Personen (Klinke/Silbernagel 2001).

1.1.2.2. Abbau von Laktat

Die Blutlaktatelimination während einer aktiven Erholung läuft bei trainierten Personen schneller ab als bei untrainierten (Gmada et al. 2005). Der Trainingszustand spielt beim Blutlaktatabbau eine wichtige Rolle. Auch Lampert et al. (1996) fanden heraus, dass Training die Blutlaktatkonzentration während einer Ausdauerbelastung reduziert. Die Fähigkeit Laktat in einer Erholungsphase abzubauen wird durch Ausdauertraining gesteigert (Messonnier et al. 2001).

Wie oben beschrieben wird das Laktat entweder direkt zur Energiegewinnung genutzt (Laktat-Shuttle) oder es diffundiert in die Blutbahn, von wo aus es in die Leber, in den Herzmuskel, in die Nieren und in die nicht arbeitende Skelettmuskulatur gelangt. Hier wird das Laktat verstoffwechselt. Der grösste Teil des Laktats, das bei maximaler kurz andauernder Belastung durch Glykolyse entsteht, wird in der Muskelzelle nach Abbruch der Belastung wieder zu Glykogen aufgebaut (Weineck 1998). In der Leber kann Laktat zu Glykogen resynthetisiert (Glukoneogenese) werden.

Der Weg des Laktats ist von der jeweiligen Stoffwechselsituation abhängig: Bei einer hohen Laktatkonzentration, normal gefüllten Glykogenvorräten und hohen Blutglucosespiegeln wird

der Abbau über die Oxidation in den Cytratzyklus gefördert. Bei einer hohen Laktatkonzentration und niedrigen Glykogenvorräten, wird das Laktat der Gluconeogenese der Leber zugeführt (Klinke/Silbernagel 2001).

Die Clearancerate (Abbaurrate) von Laktat, hängt vom Trainingszustand eines Menschen ab (Klinke/Silbernagel 2001): bei Trainierten liegt sie höher als bei Untrainierten. Somit wird die aerobe und anaerobe Schwelle bei Trainierten erst bei höheren Belastungen erreicht. Zudem haben besser Trainierte einen ökonomischeren Muskeleinsatz, der die weissen Fasern erst bei höheren Belastungen rekrutiert. Sie weisen ebenfalls höhere Lebergewichte auf, welche auf eine verbesserte Klärfunktion dieses Organs schliessen lassen.

Abb. 4 zeigt die Laktatkonzentration nach Maximalbelastung und ihre Eliminierungsrate nach Belastung.

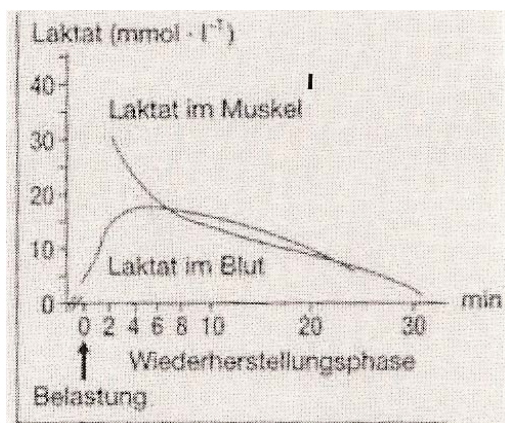


Abb. 4 Die Laktatkonzentration unmittelbar nach einer Maximalbelastung und in der Nachbelastungsphase in der Arbeitsmuskulatur bzw. im Blut (Weineck zitiert Badtke 1998, in Sportbiologie)

Die Laktateliminierungsrate aus dem Blut beträgt etwa 0,5 mmol/l pro Minute (Weineck zitiert Badtke 1998, in Sportbiologie), wobei die Normalisierung der Stoffwechselsituation schneller abläuft, wenn in der Erholungsphase körperliche Arbeit von geringer bis mittlerer Intensität – z.B. durch „Auslaufen“ – geleistet wird (vgl. Abb. 5).

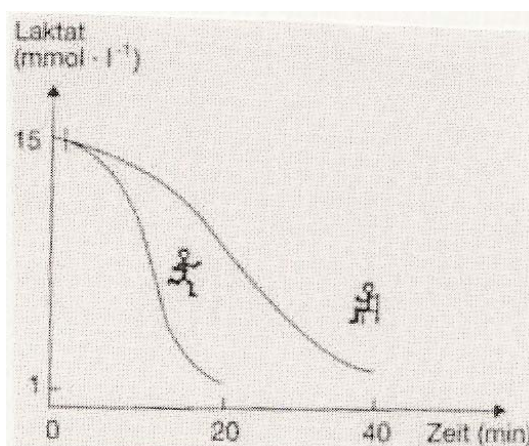


Abb. 5 Die Laktateliminierung in Abhängigkeit von einer passiven bzw. aktiven Gestaltung der Nachbelastungsphase (Weineck zitiert Astrand 1998, in Sportbiologie).

Der Anstieg an Laktat steht auch in Abhängigkeit von den Glykogenvorräten im Muskel: bei hohen intramuskulären Glykogenvorräten kommt es schneller zu einem Anstieg der Laktatkonzentration als bei glykogenarmer Muskulatur, obwohl im ersten Fall die Leistungsfähigkeit grösser ist (Haas 2000).

1.1.3. Einfluss von Belastung auf die Herzfrequenz (HF)

1.1.3.1. Herzfrequenz in Ruhe

Das Herz passt sich an körperliche Belastung an und steigert das Herzzeitvolumen (Pumpleistung des Herzens, HZV). Das HZV hängt von der Schlagfrequenz und dem Schlagvolumen ab. Das Schlagvolumen wiederum wird von der Vorlast (venöser Rückstrom), der Nachlast (Rückstau im rechten Ventrikel) und der Kontraktionskraft des Herzmuskels bestimmt (Wehrstein 2000).

Die Ruheherzfrequenz beträgt durchschnittlich 60-80 Schläge/min, kann jedoch bei älteren, sesshaften, dekonditionierten Personen über 100 Schläge/min überschreiten (Wilmore and Costill 1999).

Kurz vor einer Belastung steigt die Ruheherzfrequenz als Reaktion einer antizipatorischen Antwort an.

1.1.3.2. Herzfrequenz bei Belastung

Bei einer Belastung steigt die Herzfrequenz linear mit zunehmender Leistungsintensität und der Sauerstoffaufnahme an (Abb. 6). Bei niedrigen Widerständen und bei konstanter Belastung wird

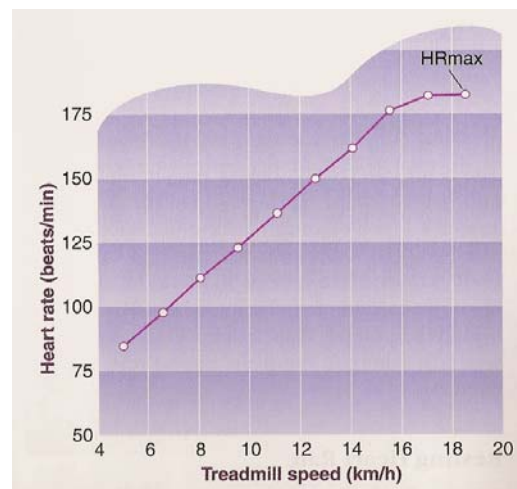


Abb. 6 Veränderungen der HF während Laufen, Joggen, Rennen mit zunehmender Geschwindigkeit auf dem Laufband. Die HF steigt direkt proportional zur Geschwindigkeit. (Wilmore/Costill 1999)

nach 2-3 min ein Gleichgewichtszustand (steady-state) erreicht, die HF nimmt nicht mehr zu. Unter schweren Belastungen kann erst nach 5-8 min ein Gleichgewichtszustand erreicht werden. Alter und

Geschlecht beeinflussen die HF. Die HF älterer Probanden bleibt niedriger als bei den jüngeren, wenn submaximale Leistungen auf dem Fahrradergometer verlangt werden (Reybrouck zitiert Rodeheffer et al. 1984, in: Angewandte Physiologie). Die maximale HF im Alter nimmt mit dem allgemeinen Alterungsprozess ab (Reybrouck 2000).

Je grösser das Herz ist, desto mehr Laktat kann es verstoffwechseln und desto mehr kann es damit indirekt die allgemeine Ermüdungsgrenze hinausschieben helfen (Weineck 2004). Innerhalb relativ kurzer Zeit (6 Wochen) lässt sich das Herzvolumen und damit eng verbunden die Ausdauerleistungsfähigkeit vergrössern (Weineck zitiert Mader 1979, in Optimales Training). Bei Belastung kann der Ausdauertrainierte die Herzfrequenz bis zum fünffachen (der Untrainierte bis zum dreifachen) steigern, wobei sich das Schlagvolumen auf mehr als das Doppelte erhöht und auch bei Frequenzen bis um 200 Schläge/min konstant bleibt (Weineck zitiert Strauzenberg et al. 1976, in Optimales Training).

1.2. Hypothese / Ziele

In der vorliegenden Studie wird untersucht, ob eine Kompressionsbandage und aktives Ausfahren nach maximalen kurzintensiven Sprints eine erholungsfördernde Massnahme darstellt.

1.2.1. Ziele

Die Studie soll aufzeigen, welchen Einfluss eine aktive Massnahme (ausfahren auf dem Fahrradergometer) kombiniert mit einer Kompressionsbandage auf die Blutlaktatelimination hat. Die Studie befasst sich auch damit, ob Kompression eine erholungsfördernde Massnahme auf die darauf folgende Belastung nach maximalen kurzintensiven Belastungen ist. Ein weiteres Ziel stellt die Durchführbarkeit in der Praxis und die Anwendbarkeit im Sport dar, insbesondere in Sprintsportarten wie z.B. Leichtathletik, Langlauf (Sprints).

1.2.2. Hypothese

Eine Kompressionsbandage mit Kurzzugbinden bewirkt während aktivem Ausfahren nach einer maximalen kurzintensiven Belastung eine erhöhte Blutflussgeschwindigkeit, wodurch die Laktatkonzentration im Blut mit Bandage schneller abnimmt als ohne Bandage und somit die Regeneration des Muskels fördert.

abhängige Variable: Blutlaktatkonzentration, Herzfrequenz

unabhängige Variable: Kompression der Strümpfe, Dauer des Sprints / Pause, Belastungsintensität

1.2.3. Nullhypothese

Eine Kompressionsbandage mit Kurzzugbinden während aktivem Ausfahren hat keinen Einfluss auf das Laktatverhalten und die Erholungsfähigkeit nach einer maximalen kurzintensiven Belastung.

1.3. Persönliche Motivation

Sport und seine Auswirkungen auf den Körper haben mich schon immer sehr interessiert und fasziniert. Da ich schon von Kindesbeinen an auf Langlaufskiern gestanden bin, habe ich diese Sportart nicht nur selbst ausgeübt, sondern auch verfolgt, was auf hohem Niveau im Spitzensport abläuft und wie sich der Langlaufsport dort entwickelt. Vor einigen Jahren entstand eine neue Disziplin, der Langlaufsprint. Ich habe die Athleten bewundert, wie schnell sie sich in so kurzer Zeit wieder soweit erholt hatten, dass sie beim nächsten Sprint wieder vollen Einsatz geben konnten. Es kamen Fragen auf über die verschiedenen Erholungsmassnahmen. Gibt es vielleicht noch ungenützte Möglichkeiten? Aus diesem Grund

entschied ich mich, meine Diplomarbeit über den Einfluss von Kompressionsbandagen auf das Laktatverhalten nach maximalen kurzintensiven Belastungen zu schreiben, um womöglich einen Beitrag zur Erholungsförderung zu leisten.

2. Methode

Um den Lesefluss zu erleichtern, wird jeweils nur die männliche Form von Proband verwendet, wobei dazu natürlich auch weibliche Probandinnen zählen.

2.1. Feldversuch

Im Vorfeld der Diplomarbeit wurde ein Feldversuch mit vier Langläufern durchgeführt, um nebst den Ergebnissen auch die Praktikabilität der Durchführung zu untersuchen. Weil eine Beschreibung dieser Ministudie den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen würde, ist sie nur kurz erläutert.

Probleme, die bei der Durchführung des Feldversuches aufgetaucht sind, betrafen vor allem standardisierbare Faktoren. So konnte die Geschwindigkeit über die gesamte Sprintdauer nicht gleichmässig hoch gehalten werden. Die Intensität des Einlaufens wie auch des lockeren Auslaufens war ebenfalls je nach Athlet unterschiedlich. Da der Test am Abend statt fand und es bereits dämmerte, entstanden trotz dem Gebrauch von Stirnlampen vor allem für die Athleten Sichtprobleme. Auf der Strasse herrschte Gegenverkehr von Autos, Pferden und anderen Sportlern.

Trotzdem konnte mit diesem Feldversuch gezeigt werden, dass der Test in der Praxis durchführbar ist. Jedoch müssten noch einige Anpassungen bezüglich standardisierbaren Faktoren gemacht werden.

Die Resultate fielen etwas verhalten aus. Es konnte kein eindeutiger Trend festgestellt werden. Der Grund dafür könnte der geringe Anteil an Probanden sein oder dass das Anlegen der Bandage nicht bei jedem Athlet denselben Druck ausgeübt hat.

Aus diesen Gründen bestand die Notwendigkeit einen weiteren Laborversuch (vorliegende Studie) auf dem Veloergometer durchzuführen. Auf diese Weise werden mehr Faktoren standardisiert wie Aufwärmgeschwindigkeit, Intensität des Sprints und des lockeren Ausfahrens. Zudem können mehr Testpersonen rekrutiert werden.

2.2. Population

Der Test wurde mit zwanzig freiwilligen gesunden Probanden durchgeführt. Nachdem sie über das Verfahren der Studie informiert wurden, gaben sie schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.

2.2.1. Einschlusskriterien

Die Probanden mussten das 20. Lebensjahr erreicht haben, da erst dann das Wachstum abgeschlossen ist (Weineck 2004). Zudem dürfen sie das 50. Lebensjahr nicht überschreiten, weil sonst weitere altersbedingte Faktoren dazukämen. Der Gesundheitszustand soll bei allen Probanden einwandfrei sein. Die Probanden sind in ihrer Freizeit sportlich aktiv.

2.2.2. Ausschlusskriterien

Personen, die über einen angeschlagenen, gesundheitlich bedenklichen Zustand verfügten, durften nicht an der Studie teilnehmen.

2.3. Administration

2.3.1. Informationsbrief

Für den Laborversuch wurden die Probanden angefragt und über das Testverfahren informiert. Der Informationsbrief enthielt Angaben über Ziele, Inhalt der Studie, Ablauf und Risiken (Anhang 7.1.). Es wurde darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig ist.

2.3.2. Einverständniserklärung

Jeder Proband unterschrieb eine Einverständniserklärung bevor er am Testverfahren teilnahm (Anhang 7.1.). Der Proband wusste über die Ziele der Studie, den Ablauf des Testverfahrens, mögliche Risiken etc. Bescheid. Er wurde informiert, dass die erhobenen Daten und Resultate anonym behandelt werden. Die Richtlinien der „World medical association declaration of helsinki“ wurden dabei berücksichtigt und eingehalten.

2.3.3. Checkliste für die Probanden

Mit Hilfe der Checkliste wurden persönliche Daten des Probanden erfasst, die dazu dienten, mögliche Faktoren, die das Testverfahren beeinflussen könnten, zu erkennen. Zum Beispiel gab die Checkliste Auskunft über den Trainingszustand des Probanden, über dessen Ernährung am Testtag, über die persönliche Verfassung etc. (Anhang 7.2.).

2.3.4. Protokoll für den Ablauf

Das Protokoll wurde für die Durchführung der Tests gebraucht (Anhang 7.3.). Für jeden Probanden gab es ein Protokoll, wobei in zwei Spalten die Messungen mit Bandage und ohne Bandage eingetragen werden konnten. Die Laktatentnahmen erfolgten jeweils zu bestimmten Zeitpunkten. Wenn das Laktat entnommen wurde, übertrug der Tester den Wert in die jeweilige Kolonne. Zur gleichen Zeit las man die aktuelle Herzfrequenz ab.

2.3. Messinstrumente

2.3.1. halbelastische Kurzzugbinden „Comprilan“ von Beiersdorf

Aus finanziellen Gründen war es nicht möglich, jedem einzelnen Probanden ein Paar MKS massgetreu anzupassen. Halbelastische Binden können hingegen individuell an Beinlänge und –umfang angepasst werden. Kurzzugbinden verfügen zudem über eine hohe Lebensdauer, denn in der vorliegenden Studie kamen sie mehrmals zum Einsatz (Asmussen/Strössenreuther 2002). Partsch et al. (2002) fanden in einer Studie heraus, dass Kurzzugbandagen eine Verbesserung der Hämodynamik und ein reduzierter Rückfluss erzeugen. Die durch die Belastung erhöhte Durchblutung weitet das Gewebe. Eine Bandage passt sich dieser Gegebenheit viel besser an als ein Kompressionsstrumpf. Ein Kompressionsstrumpf müsste nach einer Belastung anprobiert werden, um der Ausweitung des Gewebes Rechnung zu tragen.



Abb. 7 Einbandagieren



Abb. 8 Ausfahren mit Bandage

Die halbelastischen Kurzzugbinden wurden zirkulär, von den Malleolen weg aufwärts, bis zu den Hüftgelenken angelegt (Abb. 7). Das Anlegen der Binden erfolgte immer von derselben Person. Auf diese Weise sollte der Druck stets derselbe bleiben. Ähnlich wie bei einer Lymphbandage, wurde die Binde gezogen und anschliessend an die Muskulatur anmodelliert. Fuss und Kniegelenk blieben frei, um eine möglichst optimale Beweglichkeit während dem Fahren zu garantieren.

2.3.2. Fahrradergometer Ergometrics 800 von Ergoline im SOMC Leukerbad

Aktives Auslaufen bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) gilt in der Studie von Baldari et al. (2005) als die effizienteste Intensität, um Laktat abzubauen. Taoutaou et al. (1996) liess seine Probanden bei 40 % des VO_{2max} ausfahren. In einer Studie von Ahmaidi et al. (1996) zeigte sich, dass es bei aktivem Ausfahren von 32 % VO_{2max} zu höheren Laktatabnahmen kommt als bei passiver Pause.

Beim Fahrradergometer wurde die Wattzahl für das 5-minütige Einfahren individuell eingestellt, ebenso für den maximalen Sprint und das anschliessende Ausfahren. Diese

individuellen Werte wurden anhand des im Vorfeld absolvierten Conconi-Tests bestimmt. Die Probanden fuhren mit 40 % der anaeroben Schwelle des Conconi-Tests ein und aus, den Sprint mit 90 % der maximalen Wattleistung (Conconi-Test). Die Umdrehungen pro Minute betrugen beim Ein- und Ausfahren 75 RMP, beim Sprint 120 RMP. Sattelhöhe und –position wurden individuell angepasst.

2.3.3. Laktatgerät (YSI Modell 1500L Laktat Analysator)

Er dient zur Messung des Laktatgehaltes von Vollblut und Plasma. Sein Messbereich liegt bei 0 bis 30 mmol/L. In der vorliegenden Studie wurde das Laktat aus Vollblut gemessen. Vor Beginn der Messungen wurde das Gerät kalibriert. Der erste Blutropfen wurde abgewischt. Anschliessend entnahm die Laborantin das Kapillarblut einer Fingerbeere mittels Kapillarröhrchen. Die Proben wurden mit einer YSI Syringepet Modell 1501 eingegeben. Der Laktatanalysator analysierte die Probe und zeigte das Ergebnis an. Nach 20 Messwerten wurde das Gerät kalibriert. Die Kalibration von 5 mmol musste zwischen 4.9 und 5.1 mmol liegen.

Laktat wurde als Parameter bestimmt, weil viele Studien Laktat wählen, um die Erholungsfähigkeit zu untersuchen (Gmada et al. 2005, Chatard 2004, Messonnier et al. 2001, Lampert et al. 1996, Berry/McMurray 1987)

2.3.4. Pulsuhren von Polar Sporttester 4000

Pulsuhren von Polar sind sehr zuverlässig und finden hohe Anerkennung in der Sportlerwelt. Die Herzfrequenz wird bei jeder Laktatentnahme notiert.

2.3.5. Borgskala

Während des Tests wurde das subjektive Empfinden des Athleten anhand der Borgskala notiert. Die Skala beginnt bei 6, was keine Anstrengung bedeutet, und endet bei 20, was eine maximale Anstrengung ausdrücken soll. Wichtig ist, dass die Athleten ihr Empfinden so ehrlich wie möglich einschätzen.

2.3.6. Conconi-Test (aus Weineck 2004)

Beim Conconi-Test wird die Ausdauerleistungsfähigkeit mit Hilfe der Herzfrequenz ermittelt. Es besteht bei kontinuierlich gesteigerter Belastung ein linearer Bezug zwischen Belastungsintensität und Herzfrequenz. Ab einer bestimmten Intensität kommt es zu einem Knick, der Herzfrequenzumschlagpunkt genannt wird. Bei diesem kann zwar die Arbeitsintensität weiter erhöht werden, die Herzfrequenz aber nicht mehr wie im vorherigen Masse ansteigen. Nach Conconi zeigt dieser Umschlagpunkt die maximale Arbeitsintensität

an, bei der die Energieversorgung gerade noch völlig aerob abgesichert werden kann. Die anaerobe Schwelle kann somit ermittelt werden.

2.3.6.1. Durchführungsmodalitäten

Nach einem Einfahren von 10-15 min, wird dem Probanden ein Herzfrequenzmessgerät angelegt, womit in der Folge die Herzfrequenz aufgezeichnet und gespeichert wird. Auf dem Fahrradergometer wird bei 75 (♀) oder 100 (♂) Watt begonnen. Bei den männlichen Probanden steigt alle zwei Minuten die Wattzahl um 20 Watt, bei den Frauen um 15 Watt. Der Proband fährt solange die vorgegebene Stufe, bis er das vorgegebene Tempo nicht mehr halten kann.

2.3.6.2. Wertung des Conconi-Tests – Probleme

Der Conconi-Test eignet sich für die Ermittlung der aktuellen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Mehrere Male durchgeführt, kann er Hinweise über die Entwicklungsdynamik der Ausdauerleistungsfähigkeit geben. Durch Ausdauertraining kommt es zu einer Verschiebung des Herzfrequenzumschlagpunktes (Deflektionspunkt): Je besser trainiert der Fahrer, bei umso höheren Herzfrequenzwerten wird er seinen Deflektionspunkt haben. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass der Conconi-Test keine hinreichend genaue individuelle Trainingssteuerung ermöglicht, da der Deflektionspunkt nicht bei allen erkennbar ist und des öfteren nicht mit der anaeroben Schwelle übereinstimmt (aus Weineck 2004). Jones/Doust (1997) untersuchten die Validität des Conconi-Tests. Sie schlussfolgerten, dass der Conconi-Test ungünstig ist, um eine nicht-invasive Bestimmung des Laktat-Knickpunktes (entspricht der anaeroben Schwelle) zu erhalten. Die Studie von Vachon/Bassett/Clarke (1999) zeigt, dass der HF-Abknickpunkt ein ungenauer Wert für die anaerobe Laktatschwelle darstellt.

Der Conconi-Test kam in der vorliegenden Studie zur Verwendung, weil er kostengünstig und relativ schnell durchgeführt werden kann.

2.4. Testverfahren

Der Versuch fand im Leistungszentrum des Swiss Olympic Medical Center (SOMC) in Leukerbad statt. Zur Verfügung standen zwei Ergometervelos (Ergometrics 800 von Ergoline), auf welchen die Wattzahl einstellbar und die Anzahl Umdrehungen pro Minute sowie die Dauer der Belastung auf einem Monitor ersichtlich waren.

Eine Laborantin, ein Leistungsdiagnostiker und die Projektleiterin führten die Tests durch.

Jeder Proband absolvierte im Vorfeld der zwei Tests einen Conconi-Test auf dem Veloergometer, um die maximale Wattleistung und die anaerobe Schwelle zu ermitteln. Aus

diesen gewonnenen Daten wurde die Wattzahl sowohl für das Ein- und Ausfahren wie auch für den Sprint berechnet (Ein- und Ausfahren: 40 % der anaeroben Schwelle, Sprint: 90 % der Maximalleistung beim Conconi).

Die Tests fanden an zwei Tagen in derselben Woche um dieselbe Uhrzeit statt, wobei ein Tag zwischen den beiden Tests als Ruhetag eingeschoben wurde. Zwei Probanden nahmen jeweils zur gleichen Zeit am Test teil, zeitlich versetzt. Ein Testdurchlauf fand über Mittag statt, der andere am Abend.

Die Laktatentnahmen wurden mit dem Laktatgerät (1500 Sport YSI, Lactate Analysator) ausgewertet, die Herzfrequenzen mittels Pulsuhren von Polar.

Der Ablauf des Tests *mit Bandage* sah folgendermassen aus (Tab. 1): Vor Beginn des Einfahrens wurde die Ruheherzfrequenz (HFBvor) und das Ruhelaktat (LBvor) gemessen. Nach 5-minütigem Einfahren (75 RPM) wurden erneut HF (HFB1) und Laktat (LB1) gemessen. Darauf folgend absolvierte die Testperson den ersten 2-minütigen maximalen Sprint (SprB1, 120 RPM). Die zweite Laktatentnahme erfolgte 3 min nach dem Sprint (LB2), dann alle 5 min (LB3, LB4, LB5). Nach dem Sprint wurde im Sitzen zirkulär mit Zug von den Malleolen weg eine halbelastische Kurzzugbinde (Comprilan, Beiersdorf) bis zur Hüfte hoch angelegt. Das Anlegen der Bandage dauerte ungefähr drei Minuten. Der Fuss wie auch das Kniegelenk wurden ausgelassen, um die Beweglichkeit während dem Velofahren nicht einzuschränken. Anschliessend wurde während 20 min ausgefahren (75 RPM). Ebenfalls wurden die jeweiligen Herzfrequenzen notiert (HFB2, HFB3, HFB4, HFB5). Nach dem Ausfahren wurde ausbandagiert und es folgte der zweite Sprint (SprB2), der denselben Ablauf hatte. Die Bandage wurde wieder vor dem Ausfahren angelegt.

Nach einem Ruhetag erfolgte der zweite Test, der nun *ohne Bandage* durchgeführt wurde. In der Zeit, in welcher die Bandage angelegt worden wäre, sass der Proband drei Minuten auf einem Stuhl, um anschliessend das Ausfahren in Angriff zu nehmen.

Die Laktatentnahmen wurde von einer Laborantin am Finger des Probanden entnommen und mit dem Laktatgerät ausgewertet. Die Kalibration des Laktatgerätes fand jeweils nach dem ersten Ausfahren statt.

Zu den Zeitpunkten der Laktatentnahmen und dem Aufzeichnen der Herzfrequenzen, wurde die Testperson nach ihrem subjektiven Empfinden mittels der Borg-Skala gefragt.

	mit Bandage			ohne Bandage			
	Laktat	HF	Borg	Laktat	HF	Borg	
Ruhe	LBvor	HFBvor		Lvor	HFvor		Ruhe
5 einfahren	LB1	HFB1		L1	HF1		5 einfahren
2 Sprint	LB2	HFB2		L2	HF2		2 Sprint
3 einbandagieren		HFB3			HF3		3 Pause
5 ausfahren	LB3	HFB4		L3	HF4		5 ausfahren
5 ausfahren	LB4	HFB5		L4	HF5		5 ausfahren
5 ausfahren	LB5	HFB6		L5	HF6		5 ausfahren
2 Sprint	LB6	HFB7		L6	HF7		2 Sprint
3 einbandagieren		HFB8			HF8		3 Pause
5 ausfahren	LB7	HFB9		L7	HF9		5 ausfahren
5 ausfahren	LB8	HFB10		L8	HF10		5 ausfahren
5 ausfahren	LB9	HFB11		L9	HF11		5 ausfahren

Tab. 1 Testverfahren (siehe auch Anhang 7.3.)

2.5. Statistik

Die Resultate wurden mit Hilfe des Computerprogramms Excel (Windows 2003), sowie dem Computerprogramm SPSS (14.0) ausgewertet und anschliessend interpretiert.

Die persönlichen Daten wurden mit dem Mittelwert, der Standardabweichung (SD) und der Spannweite ausgewertet. Durch das Testverfahren wurden je zehn Laktatentnahmen pro Proband mit und ohne Bandage gemacht. Um eine Abnahme der Blutlaktatkonzentration während dem Ausfahren feststellen zu können, wurde die Differenz zwischen der ersten Laktatentnahme nach dem Sprint und der letzten Entnahme vor dem zweiten Sprint ermittelt. Dies wurde bei jeder Testperson durchgeführt. Anschliessend berechnete man den Mittelwert der einzelnen Differenzen. Die Mittelwerte vom Testverfahren mit Bandage und ohne Bandage wurden durch den T-test bei gepaarten Stichproben miteinander verglichen und ausgewertet. Die Auswertungen der Herzfrequenzen erfolgten nach denselben Berechnungen.

3. Resultate

3.1. Population

Geschlecht	Alter	Grösse	Gewicht	max Wattleistung
♂	11	Mittelwert 29.9	Mittelwert 172.4	Mittelwert 67.7
♀	9	SD 9.5	SD 11.0	SD 12.1
		Range 21 bis 50	Range 146 bis 189	Range 47 bis 98
				Range 150 bis 440

Tab. 2. Charakteristika der Population

Die Charakteristika der Population sind (Mean [SD, Range]): Alter 29.9 Jahre [SD 9.5, 21 bis 50], Grösse 172.4 cm [SD 11.0, 146 bis 189], Gewicht 67.7 kg [SD 12.1, 47 bis 98]. Die durchschnittliche maximale Wattleistung beträgt 311.5 Watt [SD 94.9, 150 bis 440].

3.2. Laktat

3.2.1. Mittelwerte Laktat mit und ohne Bandage (alle Messungen)

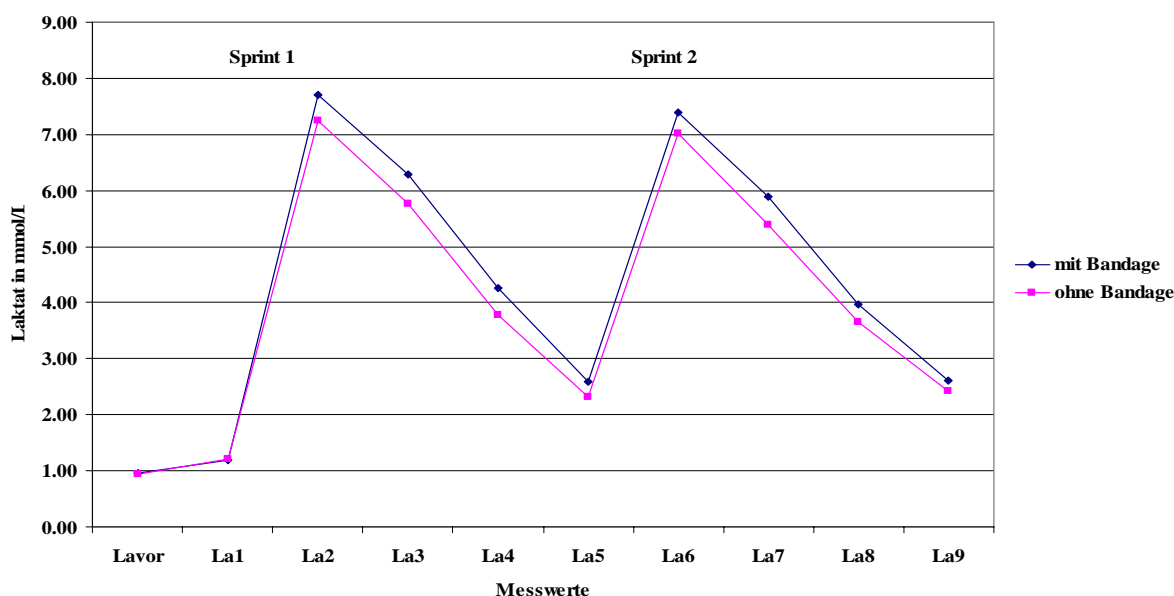


Abb. 9 Mittelwerte Laktat mit und ohne Bandage

Auf der Abb. 9 erkennt man, dass die Mittelwerte *mit Bandage* leicht grösser sind als *ohne Bandage*. Dies ist sowohl nach dem ersten als auch nach dem zweiten Sprint der Fall. Die Steilheit ist bei beiden Kurven ungefähr gleich gross.

3.2.2. Laktatabbau nach den Sprints

3.2.2.1 Laktatabbau nach Sprint 1 (Differenz Laktat 5 – Laktat 2)

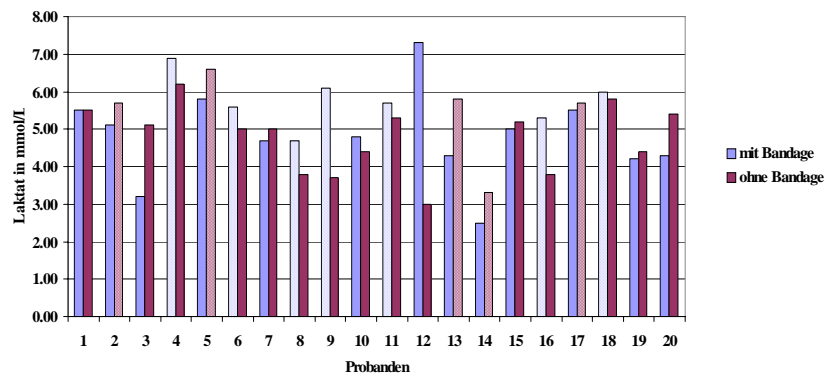


Abb. 10 Differenz der Laktatwerte, die nach dem 1. Sprint mit und ohne während dem Ausfahren anfallen

Abb. 10 zeigt auf, dass es zu Unterschieden der Laktatabnahmen nach dem 1. Sprint gekommen ist. Neun Probanden haben *mit Bandage* mehr Laktat abgebaut, zehn eliminierten mehr Laktat *ohne Bandage* und ein Proband weist keinen Unterschied auf. Der Mittelwert *mit Bandage* beträgt 5.1 mmol/L (SD 1.1), *ohne Bandage* 4.9 mmol/L (SD 1.0).

3.2.2.2. Laktatabbau nach Sprint 2 (Differenz Laktat 9 – Laktat)

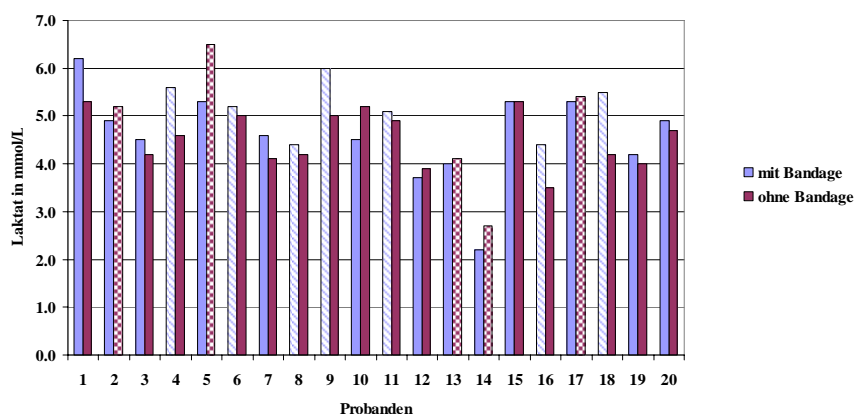


Abb. 11 Differenz der Laktatwerte, die nach dem 2. Sprint mit und ohne Bandage während dem Ausfahren anfallen

Nach dem 2.Sprint eliminieren zwölf Probanden mehr Laktat *mit Bandage*, sieben bauen mehr Laktat *ohne Bandage* ab und ein Proband weist keinen Unterschied auf. Der Mittelwert *mit Bandage* beträgt 4.8 mmol/L (SD 0.9), *ohne Bandage* 4.6 mmol/L (SD 0.8). Die violett-schraffierten Flächen bezeichnen die Probanden, die bei beiden Sprints *ohne Bandage* mehr Laktat abgebaut haben. Probanden, die bei beiden Sprints *mit Bandage* mehr Laktat eliminiert haben, weisen eine blau-schraffierte Fläche auf.

3.2.3. Laktatmaxima drei Minuten nach den Sprints

3.2.3.1. Laktatmaximum nach Sprint 1 und 2 (mit Bandage)

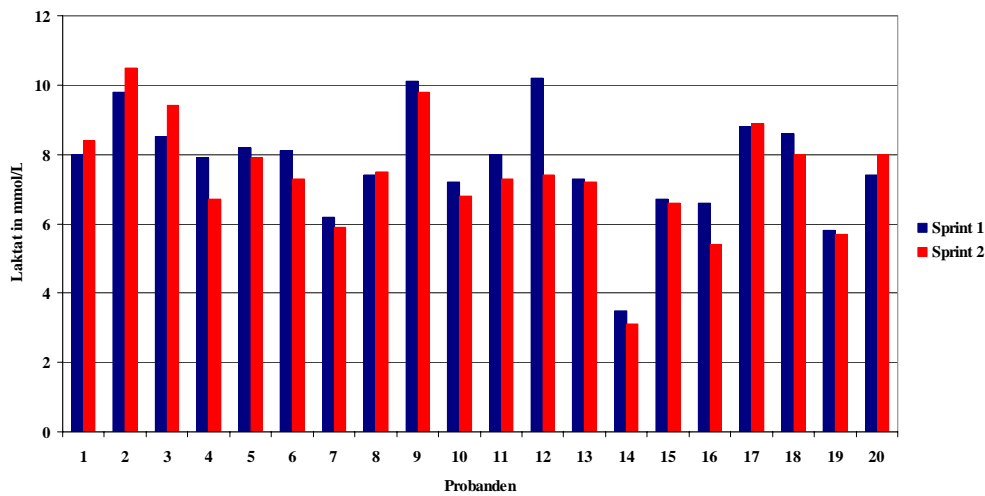


Abb. 12 Laktatmaximum nach dem 1. und 2. Sprint (mit Bandage)

Bei 14 Probanden ist das Laktatmaximum nach dem 2. Sprint tiefer. Sechs Testpersonen haben nach dem 2. Sprint höhere Laktatwerte. Die Mittelwerte *mit Bandage* nach dem 1. Sprint betragen 7.7 mmol/L (SD 1.6), nach dem 2. Sprint 7.4 mmol/L (SD 1.7).

3.2.3.2. Laktatmaximum nach Sprint 1 und 2 (ohne Bandage)

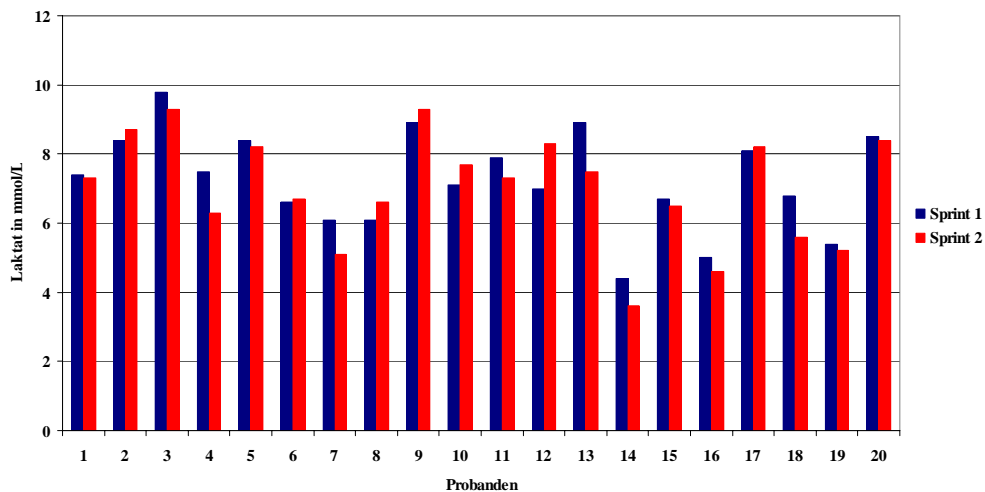


Abb. 13 Laktatmaximum nach dem 1. und 2. Sprint (ohne Bandage)

13 Probanden haben nach dem 2. Sprint weniger Laktat produziert. Sieben Probanden produzierten mehr Laktat beim 2. Sprint als nach dem 1. Sprint. Die Mittelwerte *ohne Bandage* nach dem 1. Sprint sind 7.3 mmol/L (SD 1.4), nach dem 2. Sprint 7.0 mmol/L (SD 1.6).

3.3. Herzfrequenz

3.3.1. Mittelwerte Herzfrequenz

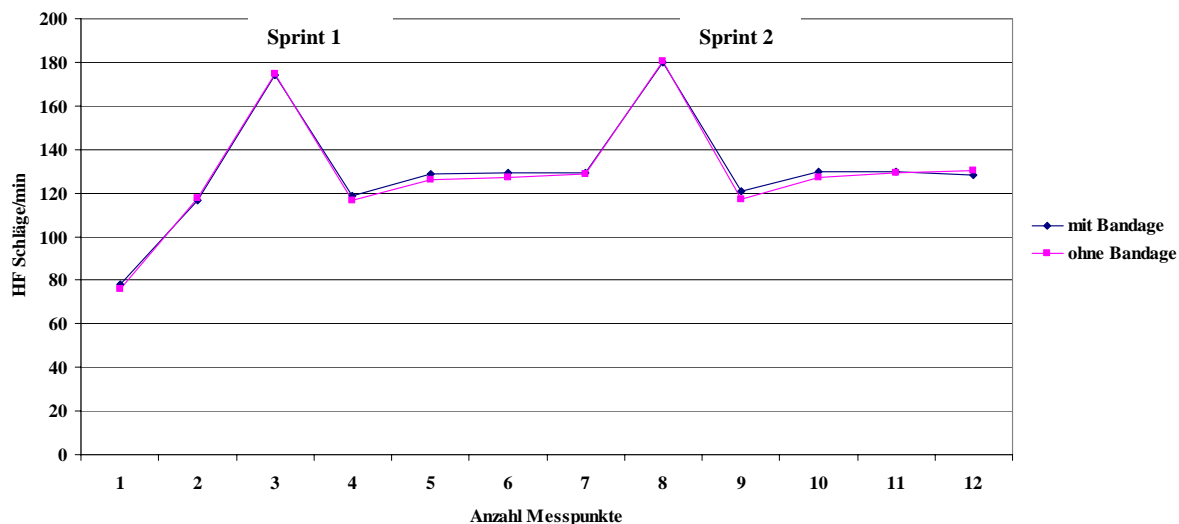


Abb. 14 Mittelwerte Herzfrequenz mit und ohne Bandage

Die beiden Mittelwertkurven sind praktisch identisch. Das Diagramm zeigt geringe Unterschiede der Herzfrequenzen während dem Ausfahren *ohne Bandage*.

3.4. Übersicht aller Resultate

mit Bandage	1. Sprint		2. Sprint		Mittelwerte beider Sprints	
Laktatwerte	Differenz LB5-LB2 in mmol/L	prozentuale Abnahme LB5-LB2	Differenz LB9-LB6 in mmol/L	prozentuale Abnahme LB9-LB6	mittlere Abnahme mit Bandage in mmol/L	mittlere prozentuale Abnahme
Mittelwert	5.1	67.2	4.8	66.3	4.9	66.7
SD	1.1	10.6	0.9	11.0	0.9	10.1
Minimum	2.5	37.7	2.2	46.7	2.4	42.8
Maximum	7.3	87.3	6.2	83.6	6.3	85.5
Herzfrequenz	Differenz HFB6- HFB2 in Schläge/min	prozentuale Abnahme HFB6 HFB2	Differenz HFB11- HFB7 in Schläge/min	prozentuale Abnahme HFB11 HFB7	mittlere Abnahme mit Bandage in Schläge/min	mittlere prozentuale Abnahme
Mittelwert	45	26.2	51	29	48	27.6
SD	10	6.7	9	6	9	6.4
Minimum	20	10.6	33	16	27	13.5
Maximum	62	36.8	66	41	64	36.9
ohne Bandage	1. Sprint		2. Sprint		Mittelwerte beider Sprints	
Laktatwerte	Differenz L5-L2 in mmol/L	Prozentuale Abnahme L5-L2	Differenz L9-L6 in mmol/L	Prozentuale Abnahme L9-L6	mittlere Abnahme ohne Bandage in mmol/L	mittlere prozentuale Abnahme
Mittelwert	4.9	69.2	4.6	67.3	4.8	68.2
SD	1.0	12.5	0.8	11.2	0.8	11.5
Minimum	3.0	41.6	2.7	45.2	3.0	44.9
Maximum	6.6	85.3	6.5	81.5	6.6	81.2
Herzfrequenz	Differenz HF6-HF2 in Schläge/min	prozentuale Abnahme HF6 HF2	Differenz HF11- HF7 in Schläge/min	prozentuale Abnahme HF11 HF7	mittlere Abnahme ohne Bandage in Schläge/min	mittlere prozentuale Abnahme
Mittelwert	46	26.7	50	28.2	48	27.5
SD	11	7.1	10	7.2	10	7
Minimum	27	14.1	32	32	30	15.2
Maximum	64	36.8	66	66	65	39.4

Tab. 3 Übersicht der Laktat- und Herzfrequenzwerte (Mittelwerte, Standardabweichung SD, Spannweite Minimum - Maximum)

3.4.1. Laktat

mit Bandage

Der Mittelwert der Laktatabnahme mit Bandage (Differenz des maximalen Wertes und dem zuletzt gemessenen Laktatwert (LB5-LB2)) nach dem ersten Sprint betrug 5.1 mmol/L. Nach dem 2. Sprint wurde in der Pause 4.8 mmol/L Laktat abgebaut. Die prozentuale Abnahme nach dem 2. Sprint war 0.9 % kleiner als im 1.Sprint, es wurde also weniger Laktat abgebaut. Die Spannweite (Minimum und Maximum) zeigt, dass es zu deutlichen Unterschieden in der Laktatabnahme innerhalb der Population kam (1. Sprint: 2.5 bis 7.3 mmol/L, 2. Sprint: 2.2 bis 6.2 mmol/L) .

ohne Bandage

Die mittlere Abnahme des Laktats nach dem 1. Sprint (Diff_L5-L2) ohne Bandage betrug 4.9 mmol/L, nach dem 2. Sprint 4.6 mmol/L. Die prozentuale Abnahme war beim 2. Sprint um 1.92 % kleiner als beim 1. Sprint. Die Spannweite reicht nach dem 1. Sprint von 3.0 bis 6.6. mmol/L, nach dem 2. Sprint von 2.7 bis 6.5 mmol/L.

Vergleich

Prozentual gesehen hatten die Probanden ohne Bandage um 1.5 % mehr Laktat abgebaut. Wobei sowohl nach dem 1. Sprint „ohne Bandage“ wie auch nach dem 2. Sprint „ohne Bandage“ prozentual mehr Laktat abgebaut wurde als „mit Bandage“.

Bei beiden Gruppen erkennt man, dass nach dem 2. Sprint weniger Laktat eliminiert wird, weil auch weniger produziert wurde (siehe Laktatmaxima Abb. 12 und 13). Die mittlere Laktatabnahme während dem Ausfahren war „mit Bandage“ verglichen mit „ohne Bandage“ statistisch nicht signifikant (Mean: -0.19 mmol/L, 95 % Konfidenzintervall [KI] -0.58 bis 0.19).

3.4.2. Herzfrequenz

mit Bandage

Die Herzfrequenzabnahme war nach dem 2. Sprint (HFB11-HFB7) grösser (51 Schläge/min) als nach dem 1. Sprint (45 Schläge/min). Die prozentuale Abnahme der HF war also mit Bandage nach dem 2. Sprint um 2.8 % grösser.

ohne Bandage

Die mittlere Herzfrequenzabnahme betrug nach dem 1. Sprint 46 Schläge/min, nach dem 2.Sprint 50 Schläge/min. Also war sie um 1.47% grösser nach dem 2.Sprint.

Vergleich

Die mittlere prozentuale Herzfrequenzabnahme variiert praktisch nicht im Vergleich mit und ohne Bandage (0.2 %). Die mittlere HF-Abnahme „mit Bandage“ verglichen mit „ohne Bandage“ ist statistisch nicht signifikant (Mean: – 0.15 Schläge/min, 95 % KI -2.43 bis 2.14).

Die Herzfrequenzwerte wurden hier aufgeführt für jene, die es näher interessiert. In der nachfolgenden Diskussion wird nicht auf die HF-Auswertung eingegangen, weil das Ziel dieser Studie das Untersuchen des Laktatverhaltens war.

3.5. Explorative Datenanalyse

3.5.1. Einfluss des Alters auf die Laktatmittelwerte mit und ohne Bandage

Die Probandengruppe wurde in zwei Altersgruppen von 20 bis 30 und von 30 bis 50 Jahren eingeteilt, wobei in der ersten Gruppe 14 Personen und in der zweiten 6 Personen waren.

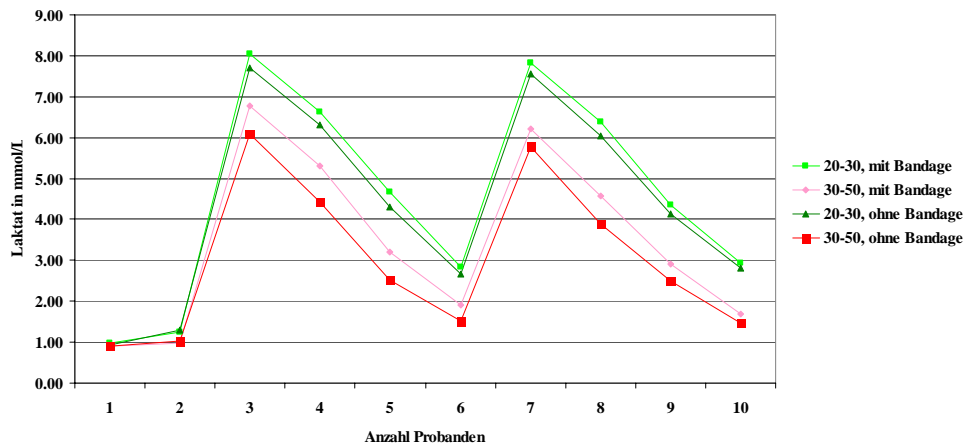


Abb. 15 Mittelwerte der Altersgruppen 20-30 mit Bandage, 30-50 mit Bandage, 20-30 ohne Bandage, 30-50 ohne Bandage

Die Abb. 15 zeigt auf, dass die Laktatmittelwerte bei der jüngeren Gruppe mit Bandage höher ausfallen. Die ältere Gruppe bildet gesamthaft weniger Laktat. Bei der älteren Gruppe besteht kein statistisch signifikanter Unterschied in der Laktatabnahme (Mean: -0.24 mmol/L, SD 0.67, 95 % KI -0.94 bis 0.47). Auch bei der jüngeren Gruppe gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied (Mean: -0.17 mmol/L, SD 0.91, 95 % KI -0.69 bis 0.36).

3.5.2. Einfluss des Trainingszustandes auf die Laktatmittelwerte

Die vom Conconi-Test gewonnenen Daten wurden mit Richtwerten (relative Leistung Watt/kg Körpergewicht verglichen (Spring et al., 1997). Die Probanden wurden zwei verschiedenen Leistungsgruppen zugeteilt. Fünf Personen sind in der Leistungsgruppe schwach bis genügend, die restlichen 15 Probanden in gut bis ausgezeichnet.

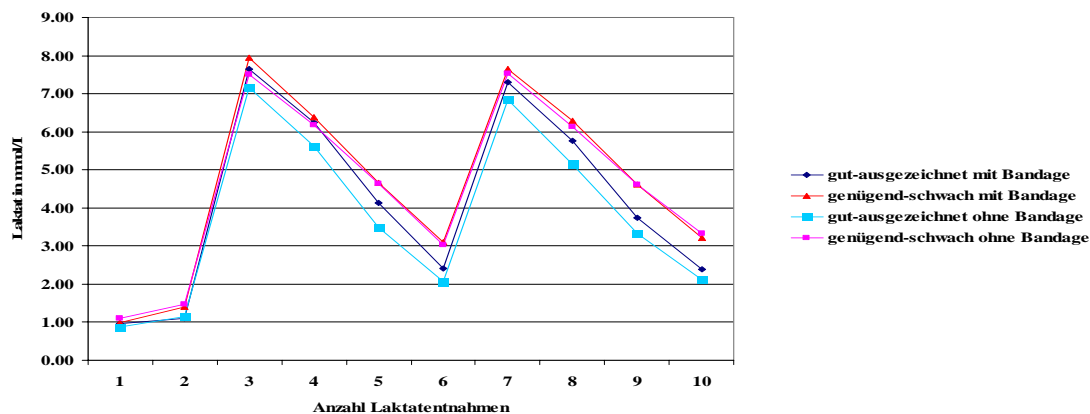


Abb. 16 Mittelwerte des Trainingszustandes, Unterteilung der Testgruppe in zwei Gruppen: genügend-schwach, gut-ausgezeichnet

Ein Trainingszustand von „schwach bis genügend“ hat zur Folge, dass die Laktatmittelwerte mit und ohne Bandage gesamthaft höher liegen. Ein „gut bis ausgezeichneter“ Trainingszustand zeichnet sich mit gesamthaft tieferen Laktatmittelwerten aus. Am Schluss des Ausfahrens weisen die besser Trainierten Laktatwerten um 2 mmol/L auf, während die Laktatwerte der weniger gut Trainierten bei > 3 mmol/L liegen. Sowohl bei einem Trainingszustand von „schwach bis genügend“ wie auch bei „gut bis ausgezeichnet“ gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied (Mean: -0.29 , SD 1.11, 95 % KI -1.67 bis 1.09 ; Mean: -0.16 , SD 0.76, 95 % KI -0.58 bis 0.26).

3.5.3. Halbwertszeiten nach Heck (1990)

Ein Mass für die Elimination von Laktat gibt die Halbwertszeit (HWZ) an. Ist die Halbwertszeit verstrichen, ist die Hälfte des gebildeten Laktats abgebaut. Die Dauer einer HWZ hängt von der Menge des in der Belastung gebildeten Laktats ab (Heck, 1990). Anhand dieser Sollwerte von Heck wurde die HWZ der maximalen Laktatwerte (Abb. 12 und 13) ausgerechnet und anschliessend mit dem effektiven Laktatwert nach 10 min und nach 15 min Ausfahren verglichen. Die Resultate der HWZ nach 10 min Ausfahren befinden sich im Anhang (Abb. 21 bis 24).

3.5.3.1 Laktatwerte nach 15 min Ausfahren mit Bandage (nach 1. Sprint)

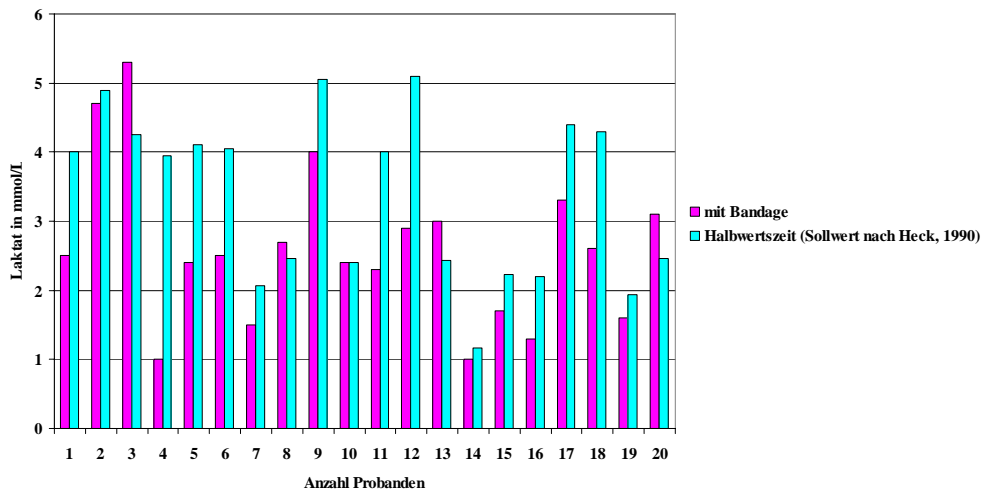


Abb. 17 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 15 min ausfahren nach dem 1.Sprint

Auf der Abb. 17 erkennt man, dass 15 Probanden mehr eliminiert haben als die HWZ vorgibt. Vier Probanden haben weniger abgebaut als der Sollwert. Ein Proband hat genau soviel eliminiert wie die HWZ angibt. Unter den vier erwähnten Probanden gehören drei der Leistungsgruppe „schwach bis genügend“ an. Bei der HWZ der Probanden von 15 min liegt der mittlere Laktatabbau bei Mean 2.6 mmol/L (SD 1.1) gegenüber dem mittleren Sollwert Mean 3.4 mmol/L (SD 1.2).

3.5.3.2. Laktatwerte nach 15 min Ausfahren mit Bandage (nach 2. Sprint)

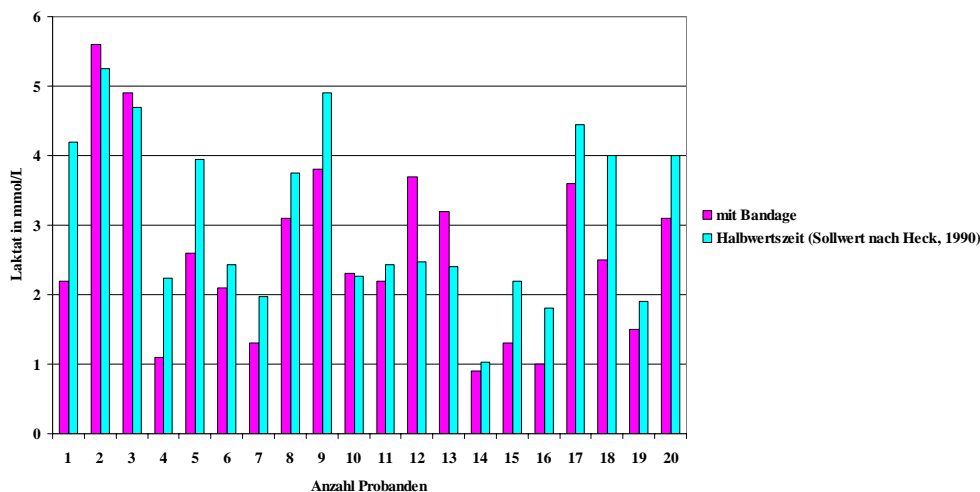


Abb. 18 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 15 min ausfahren nach dem 2.Sprint

Abb. 18 beschreibt die Laktatwerte nach dem 2. Sprint. Hier sind die Probanden mit angelegter Bandage ausgefahren. 15 Probanden haben mehr Laktat mit Bandage abgebaut als die HWZ vorgibt. 5 Probanden haben weniger eliminiert als der Sollwert. Bei der HWZ der

Probanden von 15 min liegt der mittlere Laktatabbau bei Mean 2.6 mmol/L, SD 1.3 gegenüber dem mittleren Sollwert Mean 3.1 mmol/L, SD 1.2.

3.5.3.3. Laktatwerte nach 15 min Ausfahren ohne Bandage (nach 1. Sprint)

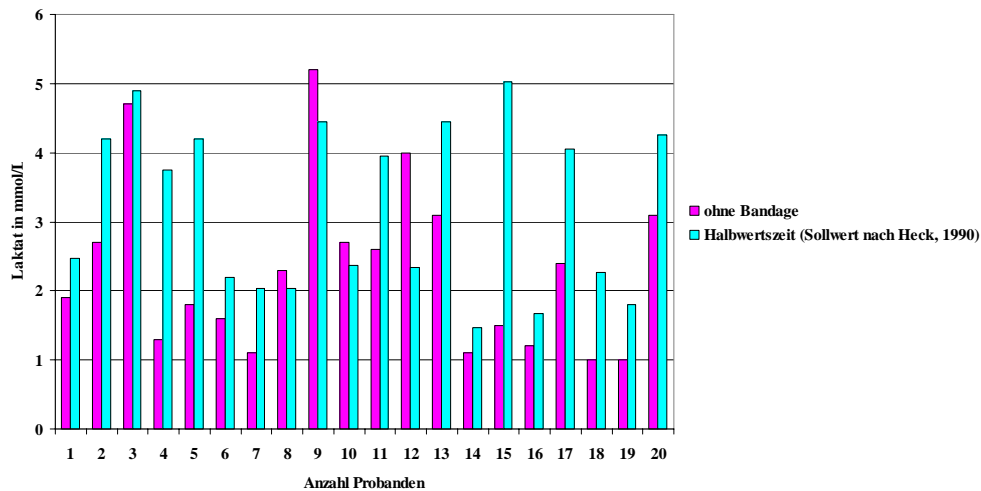


Abb. 19 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 10 min ausfahren nach dem 1.Sprint

Abb. 19 zeigt, dass 16 Probanden nach dem 1. Sprint während dem Ausfahren mehr Laktat abbauen als der Sollwert angibt. 4 Probanden haben höhere Laktatwerte als der Sollwert. Bei der HWZ der Probanden von 15 min liegt der mittlere Laktatabbau bei Mean 2.3 mmol/L, SD 1.2 gegenüber dem mittleren Sollwert Mean 3.2 mmol/L, SD 1.2.

3.5.3.4. Laktatwerte nach 15 min Ausfahren ohne Bandage (nach 2. Sprint)

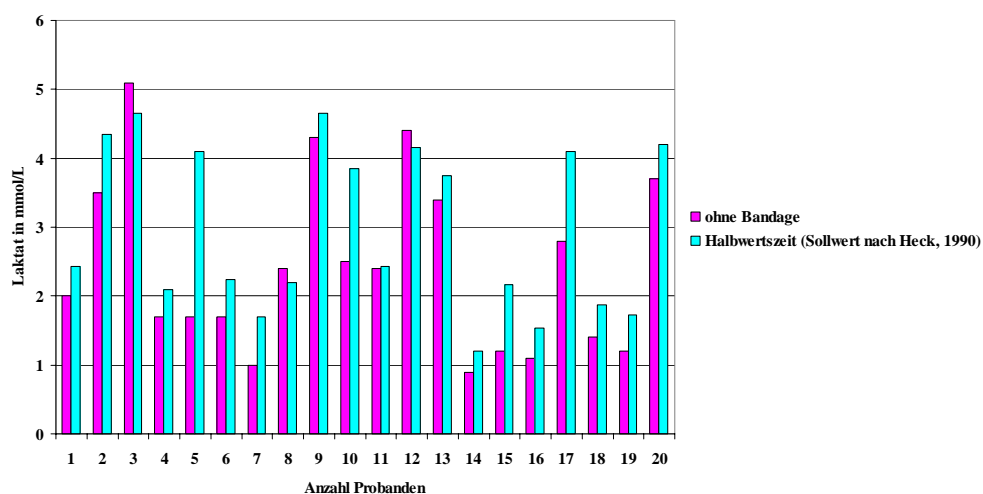


Abb. 20 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 15 min ausfahren nach dem 2.Sprint

Die Abb. 20 zeigt die Laktatwerte nach 15 min Ausfahren ohne Bandage. 17 Probanden eliminieren mehr als der Sollwert angibt. Von den 3 Probanden, die weniger abbauen als

vorgegeben, sind alle in der Leistungsklasse „schwach bis genügend“. Bei der HWZ der Probanden von 15 min liegt der mittlere Laktatabbau bei Mean 2.4 mmol/L, SD 1.3 gegenüber dem mittleren Sollwert Mean 3.0 mmol/L, SD 1.2.

4. Diskussion

Das Ziel dieser Studie war, herauszufinden, welchen Einfluss eine aktive Massnahme (ausfahren auf dem Fahrradergometer) kombiniert mit einer Kompressionsbandage auf die Blutlaktatelimination hat. Die Hypothese der Studie: Eine Kompressionsbandage mit Kurzzugbinden bewirkt während aktivem Ausfahren nach einer maximalen kurzintensiven Belastung eine erhöhte Blutflussgeschwindigkeit, wodurch die Laktatkonzentration im Blut mit Bandage schneller abnimmt als ohne Bandage und somit die Regeneration des Muskels fördert.

Die Ergebnisse dieser cross-sectional Studie zeigen keinen signifikanten Unterschied in der Blutlaktatabnahme, wenn nach den Sprints mit einer Kompressionsbandage anstatt ohne Bandage ausgefahren wird (Mean: -0.19 mmol/L, SD 0.83, 95 % Konfidenzintervall [KI] -0.58 bis 0.19).

4.1. Population

Die Testgruppe war wenig standardisiert, weshalb es zu deutlichen Unterschieden im Alter (Spannweite 21 bis 50 Jahre) und in der Leistungsfähigkeit (Spannweite maximale Wattleistung Conconi 150 bis 440 Watt) kam (Tab. 2). Der mögliche Einfluss dieser zwei Parameter wird weiter unten diskutiert. Die Ernährung, die individuell bezüglich der Zusammensetzung und dem Zeitpunkt der Einnahme sehr unterschiedlich ausfiel (mittels Checkliste ermittelt), könnte ebenfalls Auswirkungen auf die Testresultate gehabt haben. Der Zeitpunkt des einen Testdurchlaufs über Mittag war nicht optimal gewählt, da die Probanden sich am Morgen teilweise nicht ausreichend ernährt haben. Die Projektleiterin hat im Vorfeld der Tests den Probanden empfohlen, eine kohlenhydratreiche Ernährung spätestens zwei bis drei Stunden vor den Tests einzunehmen, um den Test mit ausreichenden Glykogenvorräten anzutreten.

4.2. Kompression und Einfluss auf das Laktatverhalten

Die Hypothese dieser Studie war, dass durch die Kompression während dem Ausfahren der venöse herzwärts gerichtete Blutfluss erhöht wird. Das in den Muskeln produzierte Laktat würde somit schneller zu den laktatabbauenden Organen wie das Herz, die Leber und Nieren wie auch zur weniger aktiven Muskulatur gelangen. Die Blutlaktatkonzentration würde somit schneller abnehmen und die darauf folgende Belastung könnte positiv beeinflusst werden, indem die Regeneration gefördert wird. Die Strömungsgeschwindigkeit des venösen Blutes wird durch Kompression erhöht (Asmussen/Strössenreuther 2002, Watanuki et al. 1994). MKS vergrössern das Verhältnis zwischen dem intramuskulären Druck und der

Muskelaktivierung, was folglich eine Zunahme des venösen Rückfluss bewirkt (Maton et al. 2006).

Die Abb. 10 und 11 zeigen die Menge an abgebautem Laktat innerhalb 20 Minuten nach dem 1. und 2. Sprint während dem Ausfahren mit oder ohne Bandage auf. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied erwiesen werden (Mean: -0.19 mmol/L, SD 0.83, 95% KI -0.58 bis 0.19). Nach dem ersten Sprint eliminierten zehn Probanden mehr Laktat ohne Bandage, neun wiesen grössere Laktatdifferenzen mit Bandage auf und ein Proband baute beide Male gleich viel Laktat ab (Mean mit: 5.1 mmol/L, SD 1.1; Mean ohne: 4.9 mmol/L, SD 1.0). Nach dem 2.Sprint eliminieren zwölf Probanden mehr Laktat mit Bandage, neun bauen mehr Laktat ohne Bandage ab und ein Proband weist keinen Unterschied auf (Mean mit: 4.8 mmol/L, SD 0.9; Mean ohne: 4.6 mmol/L, SD 0.8).

Die Gründe, weshalb es nicht zu grösseren Unterschieden gekommen ist, können einerseits eine durch die Kompression reduzierte Diffusionssfähigkeit des Laktats der oberflächlichen Gefässe ins Blut sein (O'Donnell 1979), andererseits dass der erwartete Effekt der Bandage zur Erhöhung der Blutflussgeschwindigkeit wenig bis nicht eintritt. Letzteres steht vermutlich im Zusammenhang mit dem ausgeübten Druck der Kompressionsbandage auf die Gefässe. Studien, die die Wirkung von MKS auf die venöse Hämodynamik untersuchten, sprechen meist von degradierenden Druckverhältnissen der MKS. Bei den Malleolen herrscht ein grösserer Druck vor als auf Höhe der Wade (Chatard 2004, Berry/McMurray 1987). Die degradierenden Druckverhältnisse konnten in der vorliegenden Studie möglicherweise mit der Kompressionsbandage nicht erreicht werden. MKS weisen diesen Vorteil auf. Fragt sich, ob es zu anderen Werten kommen würde, wenn die vorliegende Studie mit MKS anstatt mit einer Bandage durchgeführt worden wäre.

Befürchtungen, dass Kompression die arterielle Durchblutung einschränken könnte, widerlegen Bochmann et al. (2005). Sie haben die arterielle Durchblutung im Vorderarm während externer Kompression von 13 – 23 mmHg untersucht. Die arterielle Durchblutung nahm anschliessend um das zweifache zu. Sie führen dies auf eine autoregulatorische Antwort einer Abnahme des vaskulären transmuralen Druckgradienten zurück. Eze et al. (1996) fanden eine Zunahme des Blutflusses der Arteria poplitea und der Fusshautdurchblutung mittels intermittierender Kompression durch eine Waden- und Fussdruckmanschette.

Eines der Ziele dieser Studie war die Regeneration mit Hilfe einer Kompressionsbandage zu fördern. Auf dem Diagramm der Mittelwerte (Abb. 9) ist ersichtlich, dass zwar die Laktatwerte beider Gruppen abnehmen, die Probanden sich also von der intensiven Belastung erholen, aber dass die Laktatwerte mit Bandage höher liegen (Mean „Sprint 1 mit“: 5.1

mmol/L, SD 1.1; Mean „Sprint 1 ohne“: 4.9 mmol/L, SD 1.0; Mean „Sprint 2 mit“: 4.8 mmol/L, SD 0.9; Mean „Sprint 2 ohne“: 4.6 mmol/L, SD 0.8). Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied erwiesen werden (Mean: -0.19 mmol/L, SD 0.83, 95% KI -0.58 bis 0.19). In einer Studie konnte gezeigt werden, dass bei älteren Männern, die nach einem 5-minütigen maximalen Sprint während 80 Minuten passiver Ruhephase elastische Kompressionsstrümpfe getragen haben, die Blutlaktatkonzentration und der Hämatokrit signifikant gesunken sind (Chatard et al. 2004). Ebenfalls signifikante Unterschiede der Laktatwerte mit Kompressionsstrümpfen konnten in einer Studie von Berry und McMurray (1987) gefunden werden. Die MKS wurden während der Belastung und in der Erholungsphase, in welcher die Probanden liegend ruhten, getragen. Fraglich ist, ob hier die Tatsache, dass die Ruhephasen passiv gestaltet wurden, einen Einfluss auf das Laktatverhalten hatte. Denn in der vorliegenden Studie trugen die Probanden die Kompressionsbandage während dem Ausfahren, also in einer aktiven Ruhephase. Berry und McMurray untersuchten auch den Einfluss der MKS während einer intensiven Belastung (110% des VO₂max während 3 Minuten). Hier wurden die höchsten Laktatwerte nach der Belastung verzeichnet. Berry et al. vermuten, dass die MKS eine reduzierte Diffusion von Laktat aus dem Muskelbett zulassen. O'Donnell et al. (1979) beschreibt die Effekte einer elastischen Kompression so: Die Kompression vermindert das Kaliber der oberflächlichen Venen und reduziert die Dilatation dieser Gefässe. Somit würde das Blut von diesen Regionen weggeschoben werden, wodurch es zu einer Reduktion der Laktatdiffusion käme (Berry/McMurray 1987). Ist die Kompression einmal entfernt, kehrt der Blutfluss in diese Gebiete zurück und das Laktat könnte leichter ins Plasma diffundieren.

Der Druck der angelegten Kompressionsbandage in dieser Untersuchung konnte nicht genau gemessen werden. Im Vorfeld der Tests wurde versucht, mit Hilfe einer Blutdruckmanschette (Boso, Deutschland) einen Anhaltspunkt bezüglich des Druckes zu erhalten. Dieser stellte sich zwischen 30-40 mmHg ein. Obwohl die Bandage jedes Mal von derselben Person angelegt wurde, konnte es zu Druckunterschieden kommen. Im Nachhinein wird vermutet, dass die angelegte Bandage möglicherweise zu fest gewesen war. Denn auch die Probanden klagten teilweise über ein unangenehmes Gefühl während dem Ausfahren mit Bandage. Partsch et al. (2005) untersuchten mittels einer Blutdruckmanschette jene Drücke, die zu einem Annähern der oberflächlichen und tiefen Venen in verschiedenen Positionen führen. Sie fanden heraus, dass ein Druck von 30-40 mmHg ausreicht, um in sitzender und stehender Position oberflächliche und tiefe Venengefässe zu verengen. Zu einem kompletten Verschluss der Venen kam es in sitzender Position mit 50-60 mmHg. Aus diesem Grund wurde ein Druck

von 30-40mmHg durch die Kompressionsbandage in dieser Studie akzeptiert. Wahrscheinlich wurde jedoch der zusätzlich durch die Muskeln erzeugte Druck (Arbeitsdruck) während des aktiven Ausfahrens unterschätzt. Auf die Gefäße wirkte nicht nur der Druck von aussen, sondern auch der muskelinduzierte Druck.

Die Gründe, weshalb eine Kompressionsbandage den MKS vorgezogen wurde, sind nicht nur finanzieller Natur, sondern auch die Praktikabilität. Eine Bandage ist in der Sportlerwelt viel schneller angelegt als ein MKS. Zudem kann er individuell je nach Beinlänge und –umfang passend anmodelliert werden.

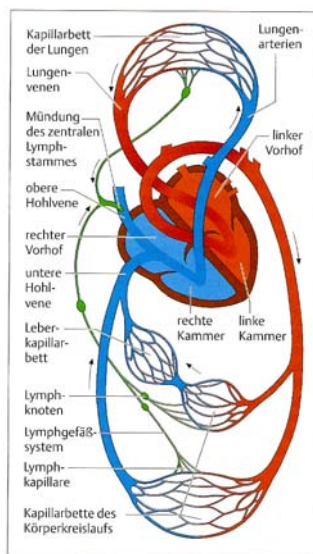


Abb. 21 schematische Darstellung des Kreislaufs (Wehrstein 2000)

Ein diskutierbarer Punkt stellt die Laktatkinetik dar. Wie in der Einleitung beschrieben, wandert das Laktat einerseits in eine benachbarte Muskelzelle, um im Mitochondrium verarbeitet zu werden, andererseits gelangt es mittels Diffusion in die venöse Blutbahn und zu den laktatabbauenden Organen wie Herz, Leber und Nieren. In der vorliegenden Studie wurde das Laktat anhand des Kapillarblutes in der Fingerkuppe gemessen. Also macht das Laktat über den venösen Blutweg zum Herzen, anschliessend in den Lungen oxygeniert, weiter entlang der arteriellen Blutbahn Richtung Arm, einen relativ langen Weg bis es gemessen wird (Abb. 21). Es kann durchaus sein, dass sich die Zusammensetzung des Blutes bis zum Messpunkt an der

Fingerkuppe verändert. Fragt sich, ob eine direkte Messung des venösen Blutes via Venenkatheter einen anderen Messwert geben würde als das kapilläre Blut der Fingerbeere. Feliu et al. (1999) fanden heraus, dass Kapillarblutproben aus der Fingerkuppe höhere Werte der Laktatkonzentration geben als jene zur selben Zeit entnommene Proben aus dem Ohrläppchen. Auch Dassonville et al. (1998) beschreiben einen Unterschied der Laktatwerte, der durch die Entnahmestelle wie auch von der Art der Belastung abhängig ist. Es kam zwar zu keinem Unterschied zwischen Kapillarblut aus dem Ohrläppchen und venösem Blut aus dem Vorderarm (Belastung auf dem Velo oder auf dem Laufband), aber die Werte der Fingerbeere waren höher. Es besteht ein signifikanter Unterschied der Laktatkonzentration zwischen kapillarem Vollblut und venösem Vollblut vor und nach submaximalen Belastungen von 20 bis 25 min (Foxdal et al. 1990). Forsyth/Farrally (2000) hingegen fanden keinen signifikanten Unterschied der Plasmalaktatkonzentrationen zwischen den Entnahmestellen Fingerkuppe, Ohrläppchen und Zehe während Intensitäten von 76 % und 92 % der maximalen

HF. In der vorliegenden Studie könnten also die Laktatwerte der Beine anders ausfallen, wenn sie an einer anderen Stelle als in der Fingerbeere gemessen worden wären.

Die Laktatabbaumenge ist individuell sehr unterschiedlich und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Eliminiert wird das Laktat in der Leber (Glukoneogenese), in den Nieren, in der weniger intensiv belasteten Arbeitsmuskulatur und im Herzmuskel (van den Berg, 2000). Zu beachten ist jedoch, dass bei muskulärer Arbeit eine Umverteilung der Durchblutung zu Gunsten der Muskulatur mit resultierender Minderdurchblutung anderer Organe stattfindet. Aus diesem Grund kann die Leber ihre Clearancefunktion z.B. während aktivem Ausfahren nur eingeschränkt wahrnehmen (Haas 2000). Die Art der Regeneration wirkt sich signifikant auf die Blutlaktatelimination aus (Thiriet et al. 1993). Aktives Auslaufen bei 50 % des VO₂max gilt in der Studie von Baldari et al. (2005) als die effizienteste Intensität, um Laktat abzubauen. Ausdauertraining besitzt einen begünstigenden Effekt auf die Fähigkeit Laktat abzubauen (Messonnier et al. 2001, Taoutou et al. 1996). Messonnier et al. (2002) vermuten, dass eine hohe Kapillardichte die Laktatabbaufähigkeit positiv beeinflusst. Eine Zunahme der Kapillardichte wird durch vermehrte Belastung und Training ausgelöst (Weineck 2004). In der Studie von van Hall et al. (2003) wird gezeigt, dass der Skelettmuskel nicht nur eine wichtige Rolle für die Laktatclearance einnimmt, sondern vor allem in aktiver Phase einen grossen Laktatkonsumenten darstellt.

Ein Mass für die Elimination von Laktat gibt die Halbwertszeit an. Ist die Halbwertszeit (HWZ) verstrichen, ist die Hälfte des gebildeten Laktats abgebaut. Nach einer weiteren HWZ ist von der verbliebenen Menge wieder die Hälfte abgebaut. Die Dauer einer HWZ hängt von der Menge des in der Belastung gebildeten Laktats ab. Heck (1990) gibt für Blut-Laktatwerte um 5 mmol/L eine Halbwertszeit von 10 min, bei Werten um 10 mmol/L 15 min und bei Werten von mehr als 20 mmol/L 25 min und länger an. Wie die Abb. 17 bis 20 (Anhang Abb. 21 bis 24) zeigen, bauen die meisten Probanden mehr Laktat ab als das es die HWZ von Heck vorgibt. Unter jenen Probanden, die weniger abbauen als der Sollwert, befinden sich häufig die drei gleichen Probanden, die über einen Leistungszustand von „schwach bis genügend“ verfügen. Dies würde bestätigen, dass weniger gut trainierte Personen, Laktat langsamer abbauen. Es ist jedoch diskutierbar, wie genau die in der vorliegenden Studie angegebenen HWZ sind. Denn Heck gibt eine Verkürzung der HWZ an, wenn in der Pause eine leichte aerobe Belastung ausgeübt wird. Diese Aussage würde die Resultate der Abb. 17 bis 20 (Anhang Abb. 21 bis 24) bestätigen, da die Mehrheit der Probanden mehr Laktat eliminiert haben als der vorgegebene HWZ-Wert.

Die Laktatmaxima (Abb. 12 und 13) zeigen auf, dass nach dem zweiten Sprint der höchste Wert mit Bandage kleiner ausgefallen war als nach dem ersten Sprint (Mean: Sprint 1 = 7.72 mmol/L, SD 1.56; Mean Sprint 2 = 7.39 mmol/L, SD 1.67). Bei der Testgruppe mit Bandage könnte man dies auf die Bandage zurückführen. Aber in der Kontrollgruppe sind die Laktatwerte nach dem zweiten Sprint ebenfalls tiefer (Mean: Sprint 1 = 7.25 mmol/L, SD 1.41; Sprint 2 = 7.02 mmol/L, SD 1.59). Ein Grund, weshalb die Laktatwerte nach dem 2. Sprint geringer sind, könnte eine langsame Erschöpfung der Glykogenvorräte sein. Denn wie Haas (2000) beschreibt, nimmt der Anstieg der Laktatkurve mit glykogenarmer Muskulatur ab, es wird also weniger Laktat produziert. Passive Erholung nach intensiver Belastung fördert die Glykogensynthese mehr als aktive Erholung (Fairchild et al. 2003). Dies würde die verminderte Laktatproduktion nach dem 2. Sprint ebenfalls erklären, da in der vorliegenden Studie aktiv ausgefahren wurde.

In der explorativen Datenanalyse wurde untersucht, ob der Trainingszustand der Probanden einen Einfluss auf die Laktatwerte mit Bandage verglichen mit ohne Bandage haben könnte (Abb. 16). Das Verhältnis der Probanden von „schwach-genügend“ zu „gut-ausgezeichnet“ ist 5:15. Die mittleren Laktatwerte der schwächeren Leistungsgruppe sind mit und ohne Bandage höher. Die mittlere Abnahme mit Bandage beträgt bei den weniger trainierten Mean mit: 4.63 mmol/L (SD 0.59) gegenüber den besser trainierten Mean mit: 5.07 mmol/L (SD 0.97) (Mean ohne: 4.34 mmol/L, SD 0.62 gegenüber Mean ohne: 4.91 mmol/L, SD 0.85). Der t-Test der mittleren Differenzen bei den besser Trainierten beträgt Mean: -0.16 mmol/L (SD 0.76) (95% KI -0.6 bis 0.3) gegenüber einem t-Test der weniger Trainierten von Mean: -0.29 mmol/L (SD 1.11) (95% KI -1.7 bis 1.1). Es zeigt sich zwar, dass der Laktatabbau bei der besseren Leistungsgruppe grösser ist, aber auch bei dieser Gruppe besteht kein signifikanter Unterschied „mit Bandage“ gegenüber „ohne Bandage“. Die Blutlaktatelimination während einer aktiven Erholung bei trainierten Testpersonen läuft schneller ab als bei untrainierten (Gmada et al. 2005, Messonnier et al. 2001). Auch Lampert et al. (1996) bestätigt diese Gegebenheit: Training reduziert die Blutlaktatkonzentration während einer Belastung und in der Erholung, indem die Effizienz, mit der Laktat abgebaut wird, vergrössert ist. Der Trainingszustand spielt beim Laktatabbau eine wichtige Rolle.

Ebenfalls in der explorativen Datenanalyse stellte sich ein Unterschied bezüglich des Alters der Probanden heraus (Abb. 15). Da die Testgruppe eine grosse Spannweite von 21 bis 50 Jahren aufwies (Mean: 29.9 Jahre, SD 9.5), schien es interessant, eine Unterteilung vorzunehmen. Mit Hilfe eines Diagramms der Mittelwerte konnte gezeigt werden, dass die Altersgruppe von 20 bis 30 Jahren deutlich höhere Laktatwerte hatten als die ältere Gruppe

(Abb. 15). Wilmore und Costill (1999) schreiben, dass es mit dem Alter zu einer Abnahme der FT-Fasern kommt und dementsprechend einer Zunahme der ST-Fasern. Dies könnte die niedrigeren Laktatwerte der Gruppe 30 – 50 erklären, denn FT-Fasern produzieren nach hochintensiven Belastungen mehr Laktat als ST-Fasern (Tesch 1984). Eine jüngere Studie von Proctor et al. (1995) bestätigt dies. Sie beschreibt zudem eine Abnahme der oxidativen Fähigkeit der FT-Fasern.

In der vorliegenden Studie hat sich die Nullhypothese bestätigt. Es gibt keinen signifikanten Unterschied einer Kompressionsbandage kombiniert mit einer aktiven Massnahme auf die Blutlaktatelimination nach intensiven Belastungen. Die Erholungsfähigkeit wird durch die Kompressionsbandage wenig gefördert. Die Durchführbarkeit in der Praxis ist gut möglich. Da die Resultate auf keine Tendenz hinweisen, ist es schwierig, eine Anwendung in der Praxis zu empfehlen. Obwohl in einigen Studien gezeigt werden konnte, dass Kompression einen positiven Effekt auf das Laktatverhalten wie auch auf die Leistungssteigerung hat (Chatard 2004, Berry/McMurray 1987), ist es nötig in weitere Studien zu investieren.

5. Fazit

In der vorliegenden cross-sectional Studie konnte kein signifikanter Unterschied in der Laktatabnahme beim Tragen mit oder ohne Kompressionsbandage während dem Ausfahren erwiesen werden (Mean: -0.19 mmol/L, SD 0.83, 95% KI -0.58 bis 0.19). Es konnte gezeigt werden, dass die Laktatwerte der schwächeren Leistungsgruppe gesamthaft höher liegen als die der stärkeren Leistungsgruppe. Ein möglicher Einfluss des Alters äussert sich in tieferen Laktatwerten bei der älteren Leistungsgruppe. Die Halbwertszeiten sowohl mit als auch ohne Bandage liegen deutlich unter dem angegebenen Sollwert von Heck (1990), was auf einen günstigen Effekt des aktiven Ausfahrens schliessen lässt.

Eine weitere Investition würde den Einfluss von Kompression auf das Laktatverhalten unter folgenden Bedingungen deutlicher machen:

Ein Vorschlag wäre die Testgruppe mehr zu standardisieren. D.h. Athleten aus einer Leichtathletikgruppe, die Sprintwettkämpfe absolvieren, oder Langlaufathleten, die ebenfalls im Winter die Langlaufsprints bestreiten, zu rekrutieren, so dass der Trainingszustand sehr gut und der Körper an maximale Belastungen gewöhnt ist.

Anschliessend würde entweder die Möglichkeit bestehen, jedem Athleten nach einer intensiven Belastung die Umfänge der unteren Extremitäten zu messen und MKS anzupassen oder mit Hilfe eines Druckmessgerätes den Druck während dem Anlegen der Kurzzugbandage zu messen, um ein degradierendes Druckgefälle zu erreichen.

Zu diskutieren ist die Entnahmestelle des Laktats. Es wäre interessant zu untersuchen, ob es zu Veränderungen der Laktatwerte kommt, wenn ein venöser Katheter gesteckt werden würde, um die Laktatwerte im venösen Blut zu messen anstatt an der Fingerkuppe.

Da die wissenschaftliche Evidenz von Kompressionsstümpfen oder Kompressionsbandagen noch relativ gering ist, werden weitere Studien benötigt, um den genauen Einfluss von Kompression auf das Laktatverhalten, unter Berücksichtigung oben genannter Vorschläge, zu untersuchen.

6. Literaturverzeichnis

1. Agu O, Hamilton G, Baker D, Graduated compression stockings in the prevention of venous thromboembolism, *Br J Surg.* 86(8): 992-1004, 1999
2. Ahmaidi S, Granier P, Taoutaou Z, Mercier J, Dubouchaud H, Prefaut C; Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise, *Med Sci Sports Exerc.* 28(4):450-6, 1996
3. Asmussen PD, Strössenreuther RHK, Kompressionstherapie. In: Földi M, Kubik S., *Lehrbuch der Lymphologie*, 5. Auflage, Urban & Fischer, 2002, s. 559-620
4. Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L, Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes, *J Sports Med Phys Fitness.* 45(4):460-6, 2005
5. Berry MJ, McMurray RG, The effects of elastic tights on the post-exercise response, *Can J Sport Sci.* 15(4):244-8, 1990
6. Bochmann RP, Seibel W, Haase E, Hietschold V, Rodel H, Deussen A, External compression increases forearm perfusion, *J Appl Physiol.* 99(6):2337-44, 2005
7. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Graham CM, Louis G; Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 74(5):461-9, 1996
8. Chatard JC, Atlaoui D, Farjanel J, Louisy F, Rastel D, Guézennec CY, Elastic stockings, performance and leg pain recovery in 63-year-old sportsmen, *Eur J Appl Physiol.* 93(3):347-5, 2004
9. Dassonville J, Beillot J, Lessard Y, Jan J, Andre AM, Le Pourcelet C, Rochcongar P, Carre F, Blood lactate concentrations during exercise: effect of sampling site and exercise mode. *J Sports Med Phys Fitness.* 38(1): 39-46, 1998
10. Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin S, Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises, *Med Sci Sports Exerc.* 36 (2):302-8, 2004
11. *Endocrinol Metab.* 286(2):E245-51, 2004
12. Eze AR, Comerota AJ, Cisek PL, Holland BS, Kerr RP, Veeramasesaneni R, Intermittent calf and foot compression increases lower extremity blood flow, *Am J Surg.* 172(2): 130-5, 1996
13. Fairchild TJ, Armstrong AA, Rao A, Liu H, Lawrence S, Fournier PA, Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise, *Med Sci Sports Exerc.* 35(4):595-602, 2003
14. Faller A, *Der Körper des Menschen - Einführung in Bau und Funktion*, 13. Auflage, Thieme-Verlag, 1999
15. Feliu J, Ventura JL, Segura R, Rodas G, Riera J, Estruch A, Zamora A, Capdevila L, Differences between lactate concentration of samples from ear lobe and the finger tip. *J Physiol Biochem.* 55(4): 333-9, 1999
16. Földi M, Kubik S, *Lehrbuch der Lymphologie*, 5. Auflage, Urban & Fischer, 2002, s.464-477
17. Forsyth JJ, Farrally MR, A comparison of lactate concentration in plasma collected from the toe, ear, and fingertip after a simulated rowing exercise, *Br J Sports Med.* 34: 35-38, 2000
18. Gmada N, Bouhlel E, Mrizak I, Debabi H, Ben Jabrallah M, Tabka Z, Feki Y, Amri M, Effect of combined active recovery from supramaximal exercise on blood lactate disappearance in trained and untrained man, *Int J Sports Med.* 26 (10):874-9, 2005
19. Haas HJ, Leistungsanpassung des muskulären Systems, In: van den Berg F, Gifford L, Gosselink R, Haas HJ, Heesen G, van Kampen M, Maskill D, Reybrouck T, Schewe H, Schwab A, Slater H, Wehrstein U, Weiss T, *Angewandte Physiologie 2 – Organsysteme verstehen und beeinflussen*, 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2000, s.535
20. Heck H, Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. In: *Studienbrief der Trainerakademie Köln des deutschen Sportbundes – Band 8.* Schorndorf-Hofmann-Verlag, 1990
21. Higgs D, Uglow M, Fail T, Graduated compression stockings reduce the venous velocity augmentation of foot pumps, *J R Nav Med Serv.* 90(3): 142-6, 2004
22. Igebunda V, Delis K, Nicolaides AN, Effect of lightweight compression stockings on venous haemodynamics, *Int Angiol.* 16(3):185-8, 1997
23. Igebunda V., Delis KT, Nicolaides AN, Aina O., Effect of compression stockings on venous hemodynamics during walking, *J Vasc Surg.* 37(2):420-5, 2003
24. Jones AM, Doust JH, The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners, *J Sports Sci.* 15(4): 385-94, 1997
25. Klinke R, Silbernagl S, *Lehrbuch der Physiologie*, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2001
26. Lampert E, Oyone-Enguelle S, Mettauer B, Freund H, Lonsdorfer J, Short endurance training improves lactate removal ability in patients with heart transplants, *Med Sci Sports Exerc.* 28(7):801-7, 1996
27. Maton B, Thiney G, Dang S, Tra S, Bassez S, Wicart P, Ouchene A, Human muscle fatigue and elastic compressive stockings, *Eur J Appl Physiol.* 97(4):432-42, 2006

28. Maton B, Thiney G, Ouchene A, Flaud P, Barthelemy P, Intramuscular pressure and surface EMG in voluntary ankle dorsal flexion: Influence of elastic compression stockings, *J Electromyogr Kinesiol.* 16(3):291-302, 2006
29. Mayberry JC, Moneta GL, DeFrang RD, Porter JM, The influence of elastic compression stockings on deep venous hemodynamics, *J Vasc Surg.* 13(1):91-9, 1991
30. Messonnier L, Freund H, Denis C, Dormois D, Dufour AB, Lacour JR, Time to exhaustion at VO₂max is related to the lactate exchange and removal abilities, *Int J Sports Med.* 23(6):433-8, 2002
31. Messonnier L, Freund H, Feasson L, Prieur F, Castells J, Denis C, Linossier MT, Geyssant A, Lacour JR, Blood lactate exchange and removal abilities after relative high-intensity exercise : effects on training in normoxia and hypoxia, *Eur J Appl Physiol.* 84(5) : 403-12, 2001
32. Monedero J, Donne B, Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance; *Int J Sports Med*, 21(8):593-7, 2000
33. O'Donnell TF et al., Effect of elastic compression on venous hemodynamics in postphlebotic limbs. *JAMA.* 242(25):2766-8, 1979
34. Partsch B, Partsch H, Calf compression pressure required to achieve venous closure from supine to standing positions, *J Vasc Surg.* 42(4):734-8, 2005
35. Partsch H, Menzinger G, Borst-Krafek B, Groiss E, Does thigh compression improve venous hemodynamics in chronic venous insufficiency?, *J Vasc Surg.* 36(5):948-52, 2002
36. Partsch H, Menzinger G, Mostbeck A, Inelastic leg compression is more effective to reduce deep venous refluxes than elastic bandages, *Dermatol Surg.* 25(9): 695-700, 1999
37. Proctor DN, Sinning WE, Walro JM, Sieck GC, Lemon PW, Oxidative capacity of human muscle fiber types: effects of age and training status, *Physiol.* 78(6):2033-8, 1995
38. Reybrouck T, Leistungsanpassung des Herz-Kreislaufsystems, In: van den Berg F, Gifford L, Gosselink R, Haas HJ, Heesen G, van Kampen M, Maskill D, Reybrouck T, Schewe H, Schwab A, Slater H, Wehrstein U, Weiss T, *Angewandte Physiologie 2 – Organsysteme verstehen und beeinflussen*, 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2000, s.546-554
39. Schürch P, Leistungsdiagnostik, Beiträge zur Sportmedizin, Band 32, 1987, perimed Fachbuch
40. Schürch P, Leistungsdiagnostik, perimed Fachbuch, Beiträge zur Sportmedizin, Band 32,, 1987
41. Spence RK, Cahall E, Inelastic versus elastic compression in chronic venous insufficiency: a comparison of limb size and venous hemodynamics, *J Vasc Surg.* 24(5):783-7, 1996
42. Spring H, Dvořák J, Dvořák V, Schneider W, Tritschler T, Villiger B, *Theorie und Praxis der Trainingstherapie – Beweglichkeit, Kraft, Ausdauer, Koordination*, 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, 1997
43. Taoutou Z et al, Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes, *J Appl Physiol Occup Physiol*, 73(5): 465-70, 1996
44. Tardieu-Berger M, Thevenet D, Zouhal H, Prioux J, Effects of active recovery between series on performance during an intermittent exercise model in young endurance athletes, *Eur J Appl Physiol.* 93 (1-2) : 145-52, 2004
45. Tesch PA, Karlsson J, Effects of exhaustive, isometric training on lactate accumulation in different muscle fiber types, *Sports Med.* 5(2):89-91, 1984
46. Thiriet P, Gozal D, Wouassi D, Oumarou T, Gelas H, Lacour JR, The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise, *J Sports Med Phys Fitness*; 33(2): 118-29, 1993
47. Vachon JA, Bassett DR Jr, Clarke S, Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running, *J Appl Physiol* 87(1): 452-9, 1999
48. van den Berg F, Gifford L, Gosselink R, Haas HJ, Heesen G, van Kampen M, Maskill D, Reybrouck T, Schewe H, Schwab A, Slater H, Wehrstein U, Weiss T, *Angewandte Physiologie 2 – Organsysteme verstehen und beeinflussen*, 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2000
49. van Hall G et al., Leg and arm lactate and substrate kinetics during exercise, *Am J Physiol Endocrinol Metab* 284: E193 – E205, 2003
50. Villiger B, Vogt M, Angermann M, Birrer D, Baumberger M, Schlegel C, Mannhart C, Schlegel C, Perret C, Wehrin J, *Höhentrainingbuch für die Praxis*, Alto '06, 2005
51. Watanuki S, Murata H, Effects of wearing compression stockings on cardiovascular responses, *Ann Physiolog Anthropol*, 13(3): 121-7, 1994
52. Wehrstein U, Kreislauf, In: van den Berg F, Gifford L, Gosselink R, Haas HJ, Heesen G, van Kampen M, Maskill D, Reybrouck T, Schewe H, Schwab A, Slater H, Wehrstein U, Weiss T, *Angewandte Physiologie 2 – Organsysteme verstehen und beeinflussen*, 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2000, s.117-160
53. Weineck J, *Optimales Training*, 8. überarbeitete und erweiterte Auflage, Spitta Verlag, 2004, s. 655-664
54. Weineck J, *Sportbiologie*, 7. überarbeitete und erweiterte Auflage, Spitta Verlag , 1998, s.44-47, s.578-586, s.587-591, s.603-608

55. Wells PS, Lensing AW, Hirsh J, Graduated compression stockings in the prevention of postoperative venous thromboembolism. A meta-analysis. Arch Intern Med. 154(1): 67-72, 1994
56. Wilmore JH, Costill DL, Physiology of sport and exercise, 2. Auflage, Human Kinetics Verlag, 1999

7. Anhang

7.1. Einverständniserklärung

7.2. Checkliste

7.3. Testablauf

7.4. Testprotokoll

7.5. weitere Resultate

7.5.1. Halbwertszeiten nach jeweils 10 min Ausfahren mit oder ohne Bandage

7.5.1.1. *Laktat nach 10 min Ausfahren mit Bandage (nach 1. Sprint)*

7.5.1.2. *Laktat nach 10 min Ausfahren mit Bandage (nach 2. Sprint)*

7.5.1.3. *Laktat nach 10 min Ausfahren ohne Bandage (nach 1. Sprint)*

7.5.1.4. *Laktat nach 10 min Ausfahren ohne Bandage (nach 2. Sprint)*

7.5.2. Differenzen der Herzfrequenz nach den Sprints

7.5.2.1. *Herzfrequenzabnahme nach Sprint 1*

7.5.2.2. *Herzfrequenzabnahme nach Sprint 2*

7.5.3. Maximale Herzfrequenzen nach den Sprints

7.5.3.1. *Maximale Herzfrequenzen nach Sprints 1 und 2 (Ausfahren mit Bandage)*

7.5.3.2. *Maximale Herzfrequenzen nach Sprints 1 und 2 (Ausfahren ohne Bandage)*

7.5.4. subjektives Empfinden nach Borg-Skala

7.1. Einverständniserklärung

Information Diplomarbeit

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

Sie wurden angefragt, ob Sie an einer wissenschaftlichen Studie, die in Zusammenarbeit mit Roger Hilfiker und Kurt Jordan vom Swiss Olympic Medical Center Leukerbad durchgeführt wird, teilnehmen möchten.

Nachfolgend werden die genauen Ziele der Studie und weitere wichtige Informationen erläutert, die Ihnen helfen sollen, eine Entscheidung bezüglich der Studienteilnahme zu treffen.

1. Ziel der Studie

Ich möchte herausfinden, welchen Einfluss Kompressionsbandagen in einer 20-minütigen Regenerationsphase nach 2-minütigen Sprints auf dem Fahrradergometer auf die Laktatelimination haben.

2. Freiwilligkeit der Studie

Ihre Teilnahme an der Studie ist vollkommen freiwillig.

3. Durchführung der Studie

Die Studie benötigt einen Zeitaufwand von ca. 2h30. Es wird zuerst ein Conconi-Test auf dem Fahrradergometer durchgeführt, der ca. 20 Minuten dauert. Dieser soll die individuelle anaerobe Schwelle ermitteln. An einem späteren Zeitpunkt finden die eigentlichen Tests statt. Der Testablauf beginnt mit einem 5minütigen Aufwärmen. Anschliessend folgt ein maximaler 2minütiger Sprint. Nach dem Sprint werden die Kompressionsbandagen von den Malleolen weg bis zur Hüfte hoch angelegt. Mit dieser Bandage wird 20 Minuten locker ausgefahren. Nachdem die Bandage wieder entfernt wurde, folgt der zweite maximale Sprint. Danach wird wiederum einbandagiert und locker ausgefahren.

Ein Test findet also mit Bandage statt, der andere mit demselben Ablauf, aber ohne Bandage. Die Tests werden innerhalb von drei Tagen abgeschlossen sein. Der Conconi-Test sollte ca. eine Woche im Voraus absolviert werden, damit eine genügende Erholung gewährleistet ist.

Während dem ganzen Testablauf wird in regelmässigen Zeitabständen Blut am Finger für die Laktatbestimmung entnommen. Es wird nach dem persönlichen Empfinden gefragt, das anhand der Borgskala angegeben werden kann. Die Herzfrequenz wird ebenfalls notiert.

4. Nutzen / Risiko für die Teilnehmer

Die Teilnahme an dieser Studie kann Ihnen folgenden Nutzen bringen:

Sie können dazu beitragen, Erkenntnisse über die Wirkung von Kompressionsbandagen auf die Laktatelimination zu gewinnen. Die aus dem Conconi erworbenen Werte können Sie in Ihr Training integrieren.

Risiken: Mögliche Risiken einer Infektion durch die Blutentnahme werden mit Hilfe von Handschuhen, verwenden von Tupfer und Desinfektionsmittel vermieden.

5. Vertraulichkeit der Daten

In dieser Studie werden persönliche Daten von Ihnen erfasst. Diese Daten werden anonymisiert. Sie sind nur Fachleuten zur wissenschaftlichen Auswertung

zugänglich. Während der ganzen Studie wird die Vertraulichkeit strikt bewahrt. Ihr Name wird in keiner Weise in Rapporten oder Publikationen veröffentlicht. Innerhalb dieser Studie werden Sie mit einer Probandennummer identifiziert, deren Schlüssel nur der Studienleitung bekannt ist.

6. Kontaktpersonen

Sollten sich nach dem Durchlesen dieser Information noch Fragen ergeben oder Unklarheiten herausstellen, können Sie sich jederzeit an die unten stehende Kontaktperson wenden:

Flavia Freidig, Quellenweg 13, 3954 Leukerbad;
flaviafreidig@gmx.ch,
079 389 22 16 (Physiotherapiestudentin im 4. Ausbildungsjahr)

Falls Sie sich entschliessen, an der Studie teilzunehmen, bitte ich Sie, mir das per E-Mail mitzuteilen. Ich werde Sie über den weiteren Verlauf informieren.

Schriftliche Einverständniserklärung des Probanden zur Teilnahme an der Studie

Einfluss von Kompressionsbandagen auf das Laktatverhalten nach kurzintensiven Belastungen

- Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch!
- Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder etwas wissen möchten.

Einfluss von Kompressionsbandagen auf das Laktatverhalten nach kurzintensiven Belastungen
Physiotherapieschule Leukerbad
Projektleiterin: Flavia Freidig
Versuchsperson: Name und Vorname:
Geburtsdatum:
Geschlecht:

Ich, Frau / Herr _____ wurde von der unterzeichnenden Person mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.

Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufrieden stellend beantwortet worden.

Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.

Ich weiss, dass ich jederzeit weitere Informationen bei der verantwortlichen Person erfragen kann.

Ich bin mir bewusst, dass während der Studie die in der Patienteninformation genannten Anforderungen und Einschränkungen einzuhalten sind.

Ort, Datum	Unterschrift der Versuchsperson
Ort, Datum	Unterschrift der Projektleiterin

7.2. Checkliste

Checkliste Athletenvorbereitung

Name:

Vorname:

Geb.datum:

Gewicht:

Grösse:

Testdatum/Testzeit:

/

Uhr

1. Training

Trainingsumfang: h/Woche (Jahresdurchschnitt)

	Art	Gesamt-Dauer				Gesamt-Intensität		
		<60'	60-120'	>120'	>300'	locker	mittel	
heute:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gestern:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vorgestern:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Ernährung

Normal ☐

Kohlenhydrat-Diät ☐

Diät zur Gewichtsreduktion ☐

Trennkost ☐

Fett-Diät (Beginn < 4 Tg) ☐

Letzte Mahlzeit vor (Zeit): Was :

Coffein (letzte 12h) ☐ nein ☐ ja Menge/ Was :

Alkohol (Vorabend) ☐ nein ☐ ja Menge/ Was :

3. Krankheit (letzte 14 Tage): ☐ keine ☐ :

4. Verletzungen/Unfall (seit letztem Test): ☐ keine ☐ :

5. Beschwerden am Testtag ☐ keine ☐ :

6. Regelm. Medikamente letzte Einnahme:

7. Supplemente (Bsp. Kreatin): letzte Einnahme:

8. Nur für Frauen ☐ noch keine Menstruation

Letzte Menstruation vor:Tagen

Pille ☐ ja ☐ nein

9. Befindlichkeit

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ankreuzen (wie fühle ich mich heute: 1=katastrophal, 10=super)

10. Test-Motivation

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ankreuzen (Wie stark bin ich für den Test motiviert: 1=überhaupt nicht, 10=maximal)

11. Andere mögliche Einflussfaktoren

7.3. Testablauf

Proband 1		Messungen	Proband 2	
einfahren 5		5 Min	einfahren 5	
Sprint 1		7 Min	einfahren 5	
banagieren 3		9 Min	Sprint 1	
		11 Min	Pause 3	
ausfahren 5		15 Min	ausfahren 5	
		17 Min	ausfahren 5	
ausfahren 5		20 Min	ausfahren 5	
ausfahren 4 ausbandagieren 1 einfahren 2		22 Min	ausfahren 5	
Sprint 2		27 Min	ausfahren 4 Pause 1 einfahren 2	
bandagieren 3		29 Min	Sprint 2	
		31 Min	Pause 3	
ausfahren 5		33 Min	ausfahren 5	
		37 Min	ausfahren 5	
ausfahren 5		39 Min	ausfahren 5	
		42 Min	ausfahren 5	
ausfahren 5		44 Min	ausfahren 5	
		47 Min	ausfahren 5	
		49 Min	ausfahren 5	

Start 2Min

24

Kalibration

26

7.4. Testprotokoll

				<div>Sprint</div> <div>ein/ausfahren</div>				<div>UpM 120</div> <div>Upm 75</div>
Velo	Sattel	Sitz						
	Test	mit Bandage			Test	ohne Bandage		
	Datum				Datum			
	Laktat	HF	Borg		Laktat	HF	Borg	
Ruhe								
5 einfahren				5 Min 7				5 einfahren
2 Sprint								2 Sprint
3 einbandagieren				9 Min 11				3 Pause
5 ausfahren				15 Min 17				5 ausfahren
5 ausfahren				20 Min 22				5 ausfahren
4 ausfahren 1 ausbandagieren 2 einfahren				27 Min 29				4 ausfahren 1 Pause 2 einfahren
2 Sprint								2 Sprint
3 einbandagieren				31 Min 33				3 Pause
5 ausfahren				37 Min 39				5 ausfahren
5 ausfahren				42 Min 44				5 ausfahren
5 ausfahren				47 Min 49				5 ausfahren

7.5. weitere Resultate

7.5.1. Halbwertszeiten nach jeweils 10 min Ausfahren mit oder ohne Bandage

Erläuterungen zu den Halbwertszeiten sind unter 3.5.3. und in der Diskussion näher ausgeführt.

7.5.1.1. Laktat nach 10 min Ausfahren mit Bandage (nach 1. Sprint)

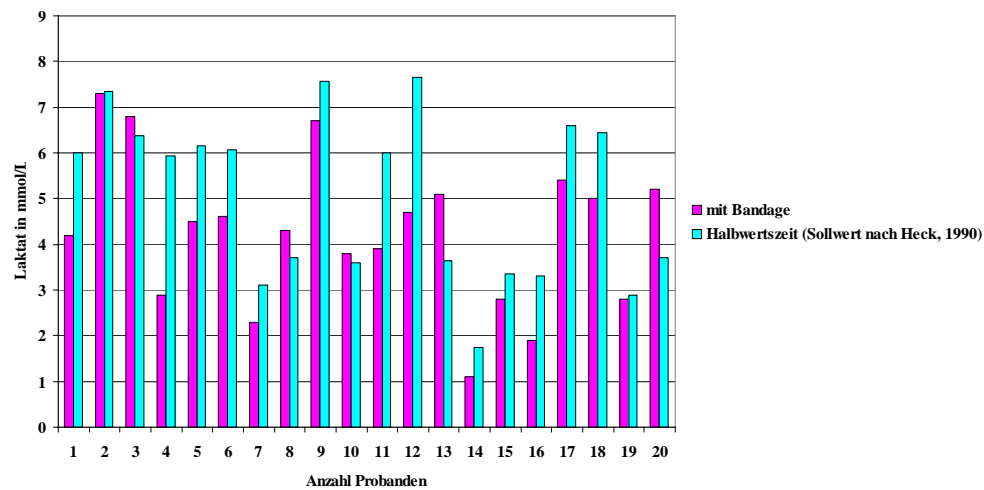


Abb. 21 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 10 min ausfahren nach dem 1. Sprint

7.5.1.2. Laktat nach 10 min Ausfahren mit Bandage (nach 2. Sprint)

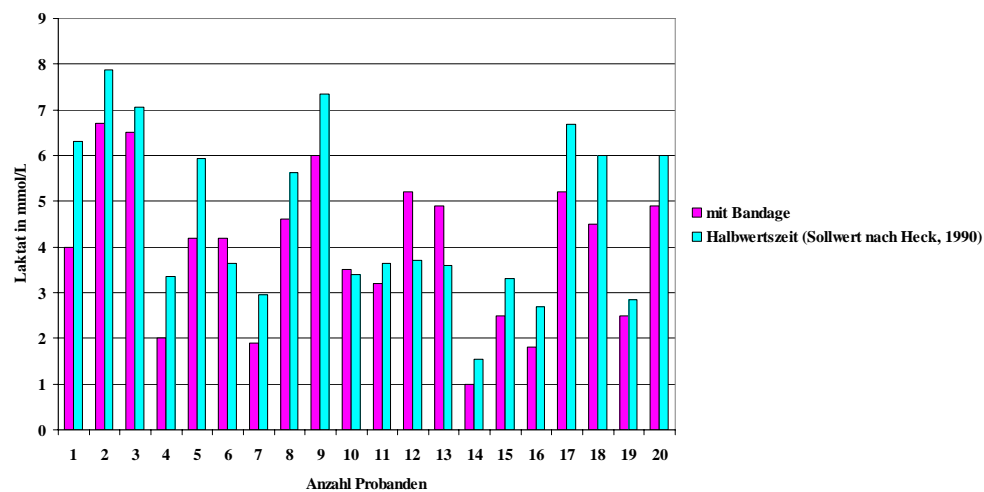


Abb. 22 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 10 min ausfahren nach dem 2. Sprint

7.5.1.3. Laktat nach 10 min Ausfahren ohne Bandage (nach 1. Sprint)

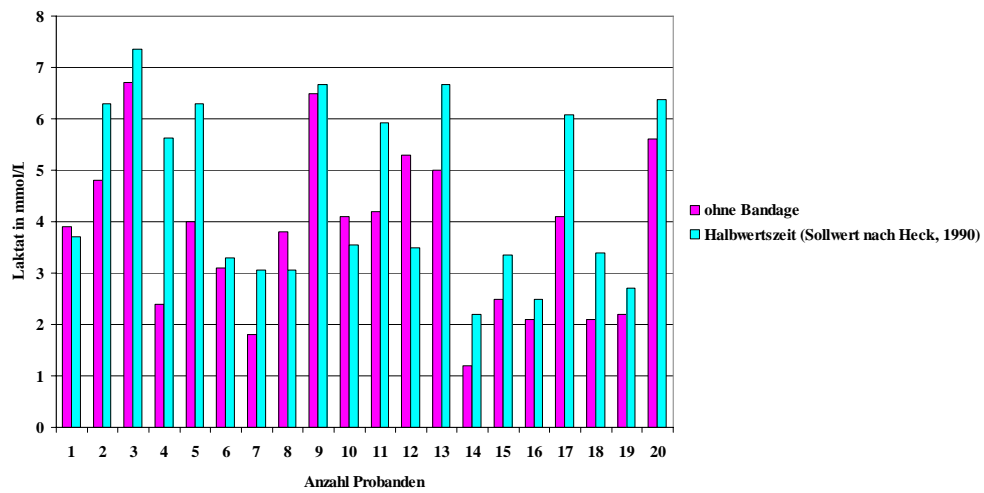


Abb. 23 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 10 min ausfahren nach dem

7.5.1.4. Laktat nach 10 min Ausfahren ohne Bandage (nach 2. Sprint)

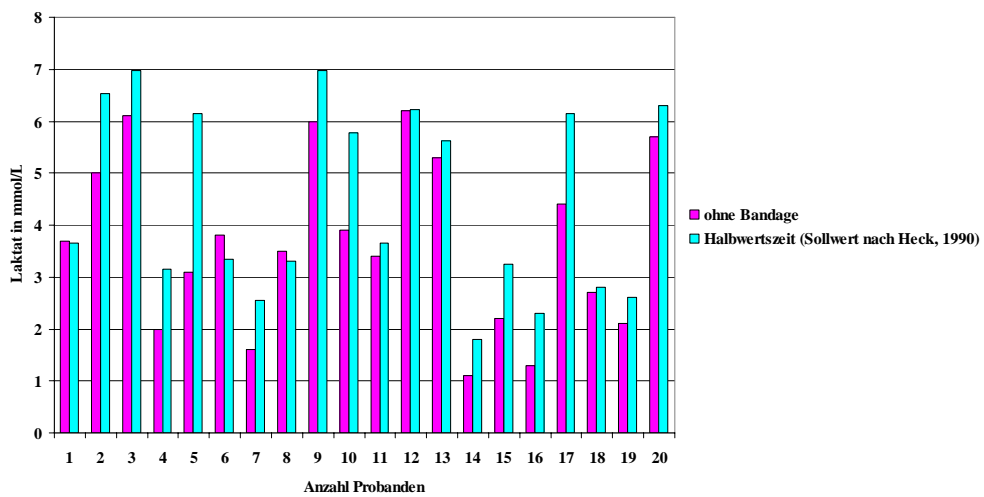


Abb. 24 Vergleich der Halbwertszeit mit den Laktatwerten nach 10 min ausfahren nach dem 2.Sprint

7.5.2. Differenzen der Herzfrequenz nach den Sprints

7.5.2.1. Herzfrequenzabnahme nach Sprint 1 (Differenz $HFB6-HFB2$ und $HF6-HF2$)

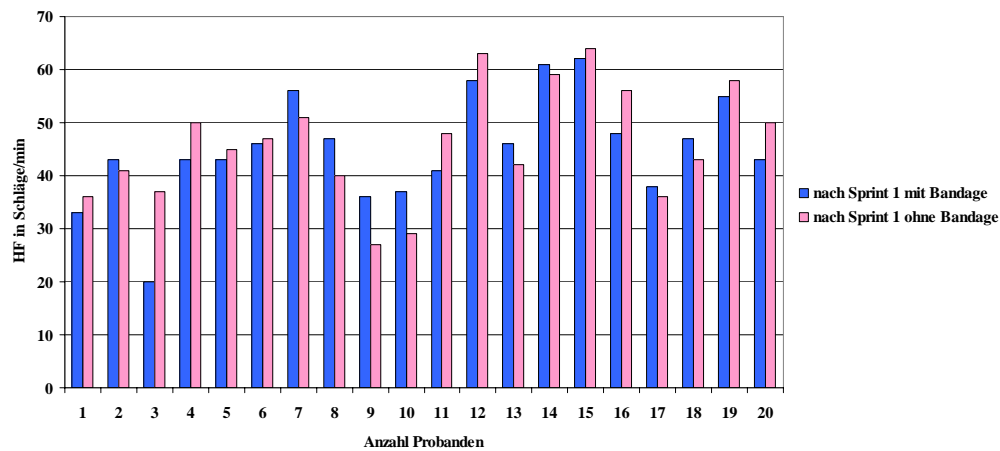


Abb. 25 Differenzen Herzfrequenz der Messwerte $HFB6-HFB2$ und $HF6-HF2$ nach dem ersten Sprint (mit und ohne Bandage)

Die Herzfrequenzabnahme nach dem ersten Sprint ist bei elf Probanden ohne Bandage grösser (Abb. 25).

7.5.2.2. Herzfrequenzabnahme nach Sprint 2 (Differenz $HFB11-HFB7$ und $HF11-HF7$)

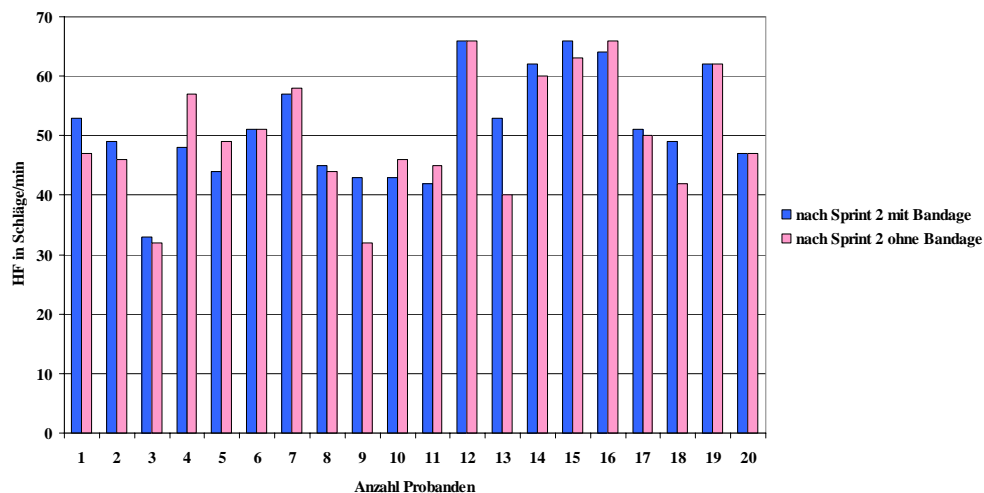


Abb. 26 Differenzen Herzfrequenz der Messwerte $HF11-HF7$ (mit und ohne Bandage)

Nach dem zweiten Sprint haben zehn Probanden mit Bandage eine grössere Herzfrequenzabnahme. Bei vier Probanden besteht kein Unterschied. Die restlichen sechs weisen grössere Differenzen ohne Bandage auf.

7.5.3. Maximale Herzfrequenzen nach den Sprints

7.5.3.1. Maximale Herzfrequenzen nach Sprints 1 und 2 (ausfahren mit Bandage)

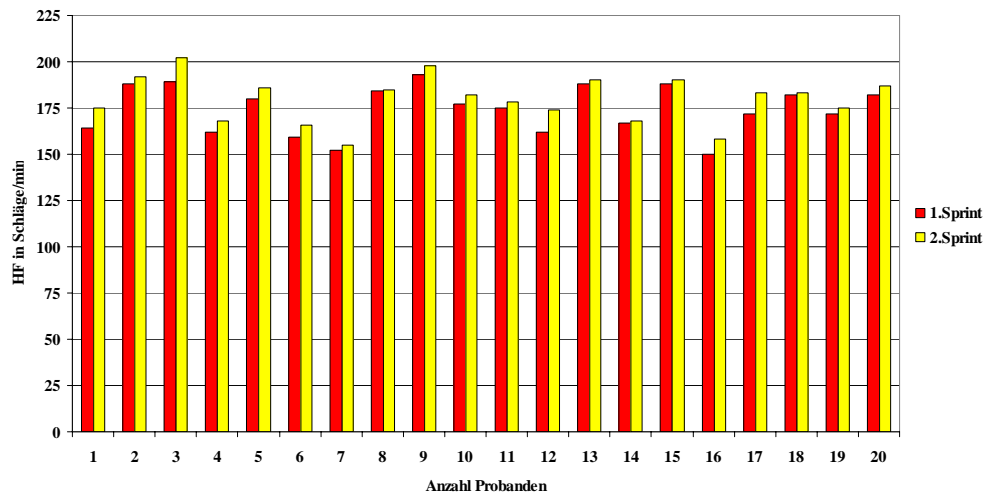


Abb. 27 maximale Herzfrequenzwerte nach beiden Sprints mit Bandage

Alle Probanden *mit Bandage* weisen nach dem zweiten Sprint höhere Herzfrequenzen auf als nach dem ersten Sprint (Abb. 27).

7.5.3.2. Maximale Herzfrequenzen nach den Sprints 1 und 2 (ausfahren ohne Bandage)

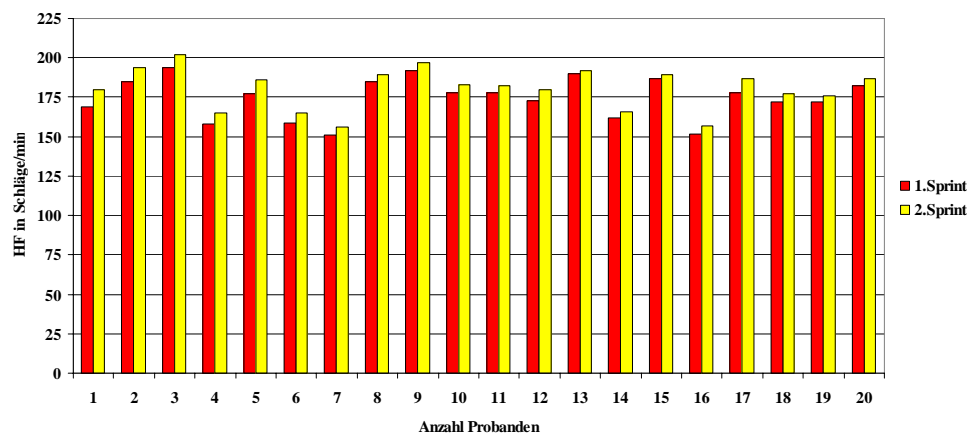


Abb. 28 maximale Herzfrequenzwerte nach beiden Sprints ohne Bandage

Alle Probanden *ohne Bandage* weisen nach dem zweiten Sprint eine grössere maximale Herzfrequenz auf als nach dem ersten Sprint (Abb. 28).

7.5.4. subjektives Empfinden nach Borg-Skala

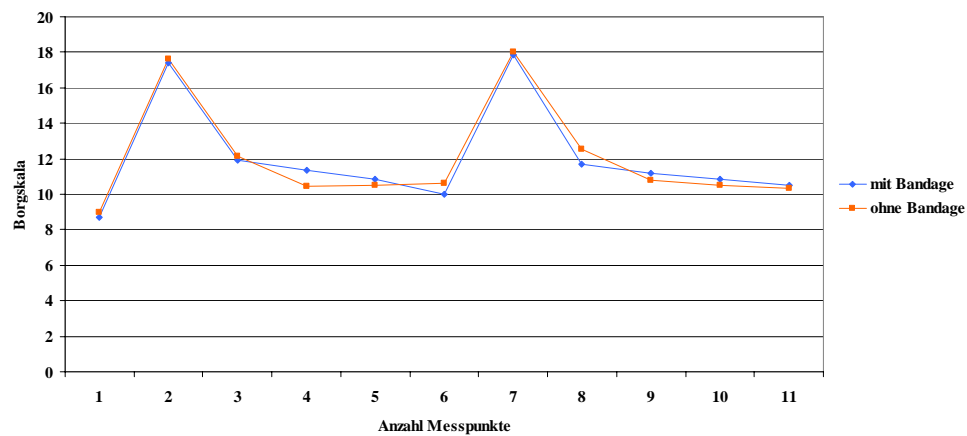


Abb. 29 subjektives Empfinden nach Borg-Skala (6 = extrem locker, 20 = maximale Anstrengung)

Abb. 29 zeigt, dass die Mittelwerte des subjektiven Empfindens nach Borg bei den Sprints zwischen „sehr hart = 17“ bis „extrem hart = 19“ waren. Während dem ausfahren pendelten sie sich zwischen „locker = 11“ bis „sehr locker = 9“ ein.