



DAS KOMPETENZZENTRUM FÜR
GESUNDHEIT UND FITNESS IN DEUTSCHLAND

Studie:

Einfluss der 2XU-Kompression auf die Ausdauerleistungsfähigkeit und auf den funktionellen Energiestoffwechsel

Halle/Westfalen, im Juli 2013

Claudia Nolden (Diplomsportwissenschaftlerin):
Studienleitung und Auswertung

Prof. Dr. Elmar Wienecke (Sportwissenschaftler):
Gründer und Inhaber von SALUTO, Studiendesign

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Thematik.....	3
2	Untersuchungsmethodik.....	3
2.1	Personenstichprobe.....	3
2.2	Merkmalstichprobe.....	4
2.3	Testmaterial	4
2.4	Untersuchungsplan und Untersuchungsdurchführung.....	5
3	Ergebnisdarstellung	6
4	Ergebnisdiskussion	9
5	Weitere Ergebnisse	10
6	Fazit	12
7	Weiterführende Literatur	12

1 Einführung in die Thematik

Kompressionsbekleidung ist in vielen Sportarten nicht mehr wegzudenken. Medizinische und sportwissenschaftliche Studien haben in den letzten Jahren bewiesen, wie effizient komprimierende Textilien im Sport, beim Wettkampf und bei der Regeneration im Hinblick auf verschiedene metabolische Parameter sind (vgl. Literatur). Den wissenschaftlichen Untersuchungen lagen allerdings unterschiedliche Testmaterialien zugrunde, so dass die Vergleichbarkeit hier eingeschränkt ist.

Eine bisher noch gar nicht berücksichtigte Komponente ist der Einfluss der Kompressionsbekleidung auf den funktionellen Energiestoffwechsel, dessen biochemische Parameter Aufschluss über die physische Verfassung eines Sportlers geben. Vor diesem Hintergrund soll in der hier vorliegenden Studie untersucht werden, welche Auswirkungen Kompressionsmaterialien einerseits auf die Ausdauerleistungsfähigkeit und andererseits auf den funktionellen Energiestoffwechsel haben.

Genauer formuliert: Ziel des nachfolgend beschriebenen Feldexperiments ist es herauszufinden, ob und inwieweit sich feststellbare Veränderungen der abhängigen Variablen *individuelle aerob-anaerobe Schwelle* (IANS), *fixe Schwelle* (FS) und die *biochemischen Parameter des Energiestoffwechsels* auf die Kompression zurückführen lassen.

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Personenstichprobe

Für die Studie wurden Mitte Juni 2013 insgesamt N = 20 männliche Teilnehmer rekrutiert mit einem Durchschnittsalter von 25,21 Jahren und einer Altersspanne von 18 bis 31 Jahren. Eine Testperson konnte die Untersuchung allerdings auf Grund von Fieber kurzfristig nicht antreten. Die Probanden sind Fußballspieler einer Regionalligamannschaft und verfügen dementsprechend über eine gute Ausdauerleistungsfähigkeit. Tabelle 2-1 stellt die Mittelwerte (M) sowie die Variationsbreite (SD) der anthropometrischen Merkmale der Teilnehmer dar:

Tab. 2-1: Mittelwerte und Streubreite der anthropometrischen Daten

Parameter	Einheit	M ± SD
Alter	Jahre	25,21 ± 3,17
Gewicht	kg	78,63 ± 4,75
BMI	kg/m ²	23,53 ± 1,22

2.2 Merkmalstichprobe

Für die Studie werden sowohl allgemeine Personendaten als auch medizinische und biochemische Parameter erhoben. Die zentralen Messkriterien für die Überprüfung der Wirksamkeit der Kompressionsbekleidung sind die Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen an der IANS nach SIMON und der FS (in m/s und Herzfrequenzhöhe), sowie der funktionelle Energiestoffwechsel, gemessen an folgenden Carbonsäuren und Metaboliten: Zitronensäure, Cis-Aconitsäure, Alpha-Ketoglutarinsäure, Bernsteinsäure, Fumarsäure, Äpfelsäure und Pyruvat.

Die Erhebung der Schwellen erfolgt anhand eines Feldstufentests unter Berücksichtigung des Blutbilds (u.a. Leukozyten, Hämoglobingehalt, Hämatokrit) unmittelbar vor dem Lauf. Die Daten des Energiestoffwechsels werden am Tag nach der Belastung mittels Urinprobe ermittelt. Die Herzfrequenzen während des Laktattests werden mit Hilfe des telemetrischen Mess-Systems *Polar Team²* dokumentiert.

Die verschiedenen Metabolite und Carbonsäuren des Energiestoffwechsels werden mit der LC-MS/MS-Methode gemessen – ein besonders sensibles und spezifisches Nachweisverfahren. Hier werden die Vorteile bisheriger Verfahren (*high performance liquid chromatography* und *ultra performance liquid chromatography*) mit einer neuen verfeinerten Technik der Tandemmassenspektrometer gekoppelt.

Der Zitronensäurezyklus bildet die zentrale Schaltstelle des gesamten Stoffwechsels. In ihm laufen die Abbauege der Kohlenhydrate, Fette und Proteine ab. Ein Mangel an elementaren Mikronährstoffen (Aminosäuren, Vitamine, Mineralien und Spurenelementen) können eine Störung in den Mitochondrien zur Folge haben (mitochondriale Dysfunktion). Eine Erhöhung und/oder eine Erniedrigung der Stoffwechselprodukte können dementsprechend Aktivitätseinschränkungen im funktionellen Energiesystem und somit eine Herabsetzung bei der Energiegewinnung anzeigen. Werte im Grenzbereich können also demnach Ursache für eine verminderte Leistungsfähigkeit sein.

Im Team (Medizinern, Sportwissenschaftlern, Physiotherapeuten, Biochemikern) ist es gelungen, ein umfassendes Analysesystem mit einer entsprechenden Datenbank aufzubauen. Die Ergebnisse zeigen Abweichungen von den Medianwerten in % vergleichbarer Personen hinsichtlich Altersstruktur, persönlichem Lebensstil, Vorerkrankungen und sportlicher Aktivität. Funktionseinschränkungen bestimmter Enzyme lassen sich in der folgenden Form erkennen (vgl. Tabelle 2-2):

Tab. 2-2: Interpretation der Parameter des funktionellen Energiestoffwechsels

Parameter	Bereiche der Funktionseinschränkung	Interpretation
	Medianwert	
Zitronensäure	Werte < - 60 % oder > + 60 %	Indikator für Mikronährstoffmängel (enzymatische Blockierung)
Cis-Aconitsäure	Werte < - 60 % oder > + 50 %	u.a. Aktivitätseinschränkungen bestimmter Enzyme, Erhöhung bedeutet zunehmende zentrale Ermüdung
Alpha-Ketoglutar Säure	Werte > + 60 %	mitochondriale Dysfunktion, gestörter Abbau einiger elementarer Aminosäuren
Bernsteinsäure	Werte > + 60 %	Die drei Zitratzyklus-Metabolite Bernsteinsäure, Fumarsäure und Äpfelsäure signalisieren einen B-Vitaminmangel. Eine Erhöhung kann zu einer Unterbrechung des Elektronentransports und zu einer Reduzierung der Energiegewinnung führen.
Fumarsäure	Werte > + 30 %	
Äpfelsäure	Werte > + 30 %	
Pyruvat	Werte > + 40 %	Funktionseinschränkung der Pyruvatdehydrogenase in Folge u.a. eines B-Vitaminmangels

2.3 Testmaterial

Getestet werden die komprimierenden Textilien der Firma 2XU. An den Untersuchungstagen tragen die Probanden eine Short, ein Top und Strümpfe aus der Reihe *perform pure active*, in der darauf folgenden Nacht eine Hose aus der Reihe *refresh pure recovery*. Die Zuteilung der entsprechenden Kleidergrößen von XS bis XL übernahm ein 2XU-Mitarbeiter unter Berücksichtigung des Waden- und Oberschenkelumfangs.

2.4 Untersuchungsplan und Untersuchungsdurchführung

Die Feldstufentests finden unter standardisierten Bedingungen in einer Halle innerhalb von drei Tagen mit einem Tag Pause statt. An den Tagen direkt vor und nach den Tests wird kein Fußballtraining durchgeführt. Die zu absolvierenden Stufen betragen 2,5 m/s, 2,9 m/s, 3,3 m/s, 3,7 m/s, 4,1 m/s, 4,5 m/s und 4,9 m/s auf einer Streckenlänge von 1.200 m bis zum individuellen

Erschöpfungszustand der Spieler. Direkt vor und nach dem Laktatetest wird die Körperkerntemperatur erfasst. Außerdem werden die Erholungslaktatwerte 5 Minuten und 10 Minuten nach Belastung dokumentiert. Die Gruppenzuteilung der Spieler erfolgt randomisiert, d.h. die erste Hälfte der Spieler trägt die Kompressionsbekleidung beim ersten Feldstufentest und in der darauf folgenden Nacht, die zweite Hälfte dementsprechend umgekehrt. Der Baselinewert des Energiestoffwechsels wird mit Hilfe des Morgenurins am ersten Testtag ermittelt. Um Veränderungen bei den biochemischen Parametern festzustellen, erfolgen jeweils zwei weitere Messungen am nächsten Morgen nach den Feldstufentests.

3 Ergebnisdarstellung

Die Datenauswertung erfolgt mit der Statistiksoftware SPSS. Um eine Aussage über Unterschiede zwischen den Tests mit und ohne Kompressionsbekleidung treffen zu können, werden die Daten anhand von t-Tests für abhängige Stichproben analysiert.

Die folgenden Abbildungen zeigen zunächst die ermittelten Laktatwerte (Abbildung 3-1) sowie die Kurvenverläufe der Herzfrequenzen (Abbildung 3-2) während der Feldstufentests. Bei der Darstellung wurde auf die Stufe 4,9 m/s verzichtet, weil diese lediglich von 8 Spielern absolviert aber auch vorzeitig beendet wurde. Die meisten Testabbrüche waren nach 4,5 m/s zu verzeichnen, wobei drei Probanden mit Kompression und zwei ohne Kompression auch diese Stufe bereits nicht mehr antraten.

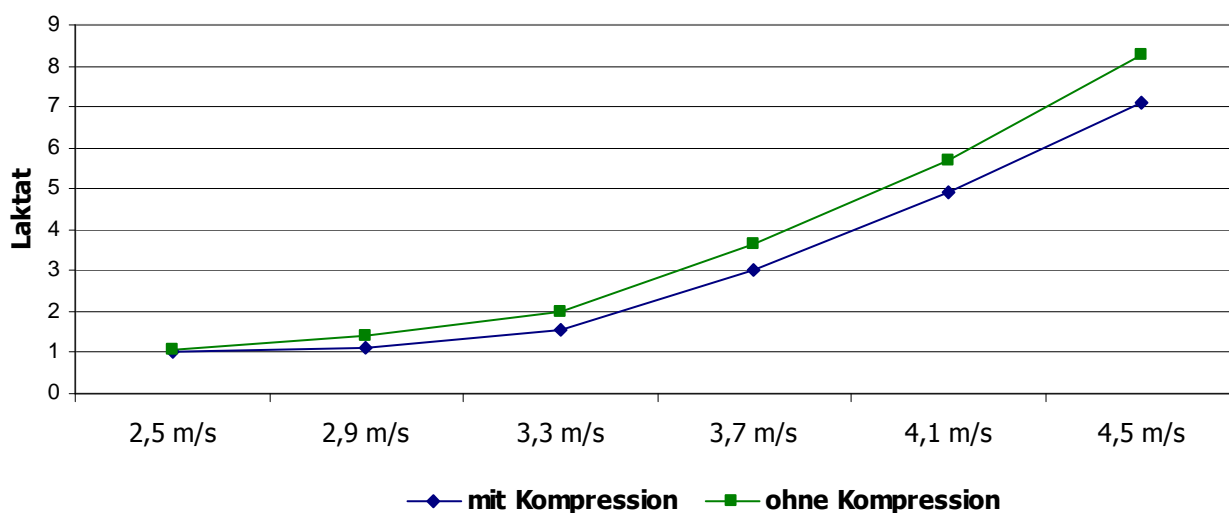


Abb. 3-1: Mittlere Laktatwerte während der Feldstufentests mit und ohne Kompression

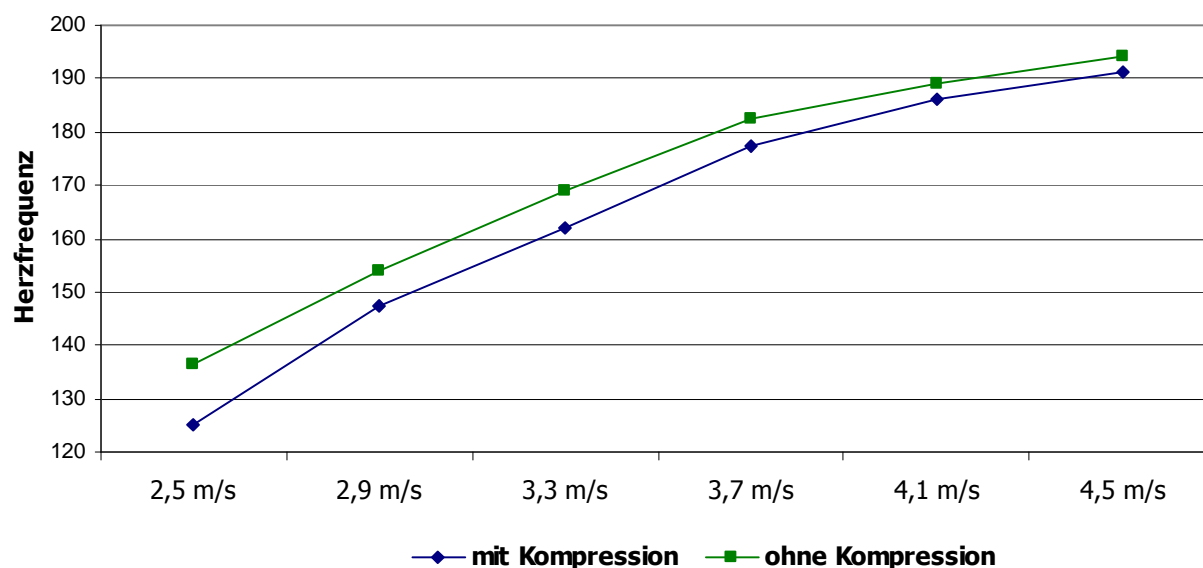


Abb. 3-2: Mittlere Herzfrequenzen während der Feldstufentests mit und ohne Kompression

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Probanden mit den komprimierenden Textilien im Mittel auf allen Stufen, niedrigere Laktatwerte aufweisen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Kurvenverläufen der Herzfrequenzen, wobei die Unterschiede hier mit Zunahme der Geschwindigkeit geringer und bei den Laktatwerten größer werden.

Um einen Unterschied hinsichtlich der Ausdauerleistungsfähigkeit festzustellen, wurden für jeden Spieler die IANS sowie die FS errechnet. Tabelle 3-1 zeigt sowohl die Mittelwerte inklusive Standardabweichung als auch die Kennzahlen der Unterschiedsprüfung:

Tab. 3-1: Mittelwerte und Streubreite ($M \pm SD$) der Ausdauerleistungsfähigkeit mit und ohne Kompression

Parameter	Einheit	mit Kompression	ohne Kompression	Unterschiedsprüfung		
		$M \pm SD$	$M \pm SD$	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
IANS	m/s	3,60 ± 0,22	3,46 ± 0,21	5,804	18	.000
	S/min	165,14 ± 40,33	174,74 ± 6,34	-1,018	18	.322
FS	m/s	3,96 ± 0,29	3,83 ± 0,27	7,976	18	.000
	S/min	183,58 ± 8,13	185,26 ± 8,25	-2,099	18	.050

Die Ergebnisse zeigen eine hohe Signifikanz der Laktatschwellen im Hinblick auf die Geschwindigkeit (p jeweils $< .05$). Die Herzfrequenzhöhe ist bei den Sportlern mit Kompression bei beiden deutlich niedriger, der Unterschied weist aber lediglich bei der fixen Schwelle eine Signifikanz von $p = .050$ auf.

Der Abbruch der Stufentests erfolgte auf Grund der Durchführung bis zur individuellen Erschöpfung entweder bei 4,5 bis 4,9 m/s. Auch die Dauer der letzten absolvierten Stufe variierte je nach Belastbarkeit. Der insgesamt letzte ermittelte Laktatwert ist bei denjenigen, die die Kompressionsbekleidung getragen haben, signifikant geringer ($t_{(18)} = -6,261$; $p = .000$). Auch während der Erholungsphase zeichnet sich diese Gruppe durch einen höheren prozentualen Abfall des Laktats aus (vgl. Abbildung 3-3).

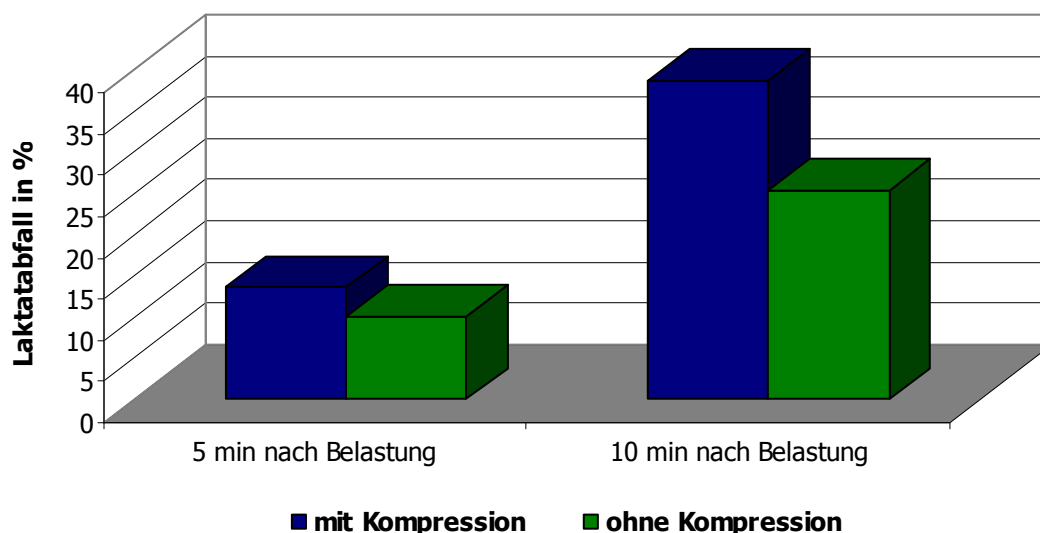


Abb. 3-3: Prozentualer Abfall des Laktats 5 min und 10 min nach Belastung

Die Ergebnisse des funktionellen Energiestoffwechsels werden zunächst im Hinblick auf die prozentuale Abweichung vom Medianwert des Referenzwertes dargestellt (vgl. Abbildung 3-4).

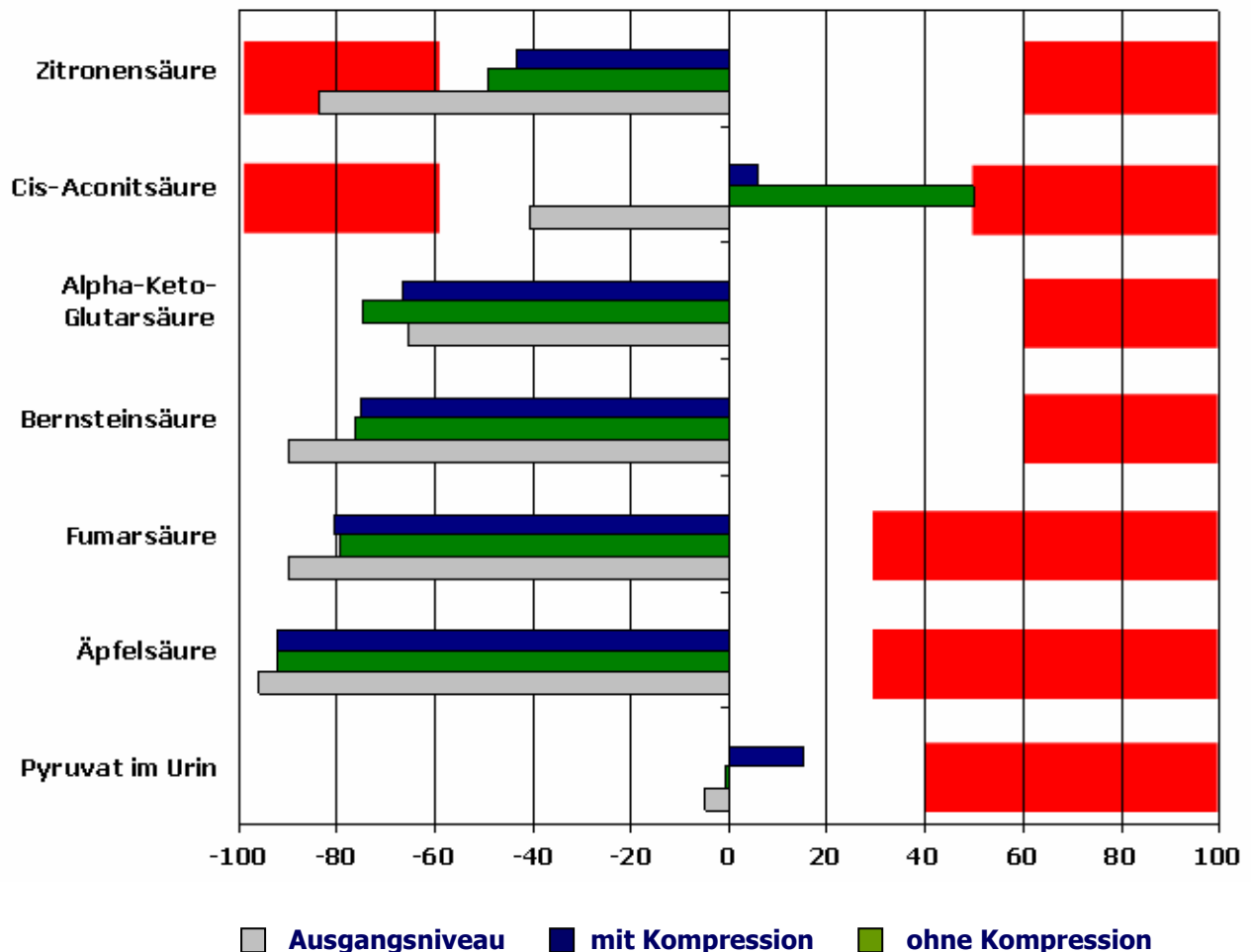


Abb. 3-4: Prozentuale Abweichung der Parameter des Energiestoffwechsels vom Medianwert
 Rote Felder kennzeichnen den Bereich der Aktivitätseinschränkungen

Ein deutlicher Unterschied zwischen den Spielern mit und ohne Kompression zeichnet sich bei dem Parameter Cis-Aconitsäure ab, dessen Kennzahlen nach statistischer Überprüfung eine hohe Signifikanz aufweisen ($p = .003$). Alle anderen Größen des Energiestoffwechsels haben statistisch keine Relevanz (vgl. Tabelle 3-2).

Tab. 3-2: Mittelwerte und Streubreite ($M \pm SD$) des funktionellen Energiestoffwechsels mit und ohne Kompression

Parameter	Einheit	mit Kompression	ohne Kompression	Unterschiedsprüfung		
		$M \pm SD$	$M \pm SD$	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Zitronensäure	mg/g Kreatinin	104,34 ± 102,86	93,99 ± 129,40	0,427	17	.674
Cis-Aconitsäure	mg/g Kreatinin	44,38 ± 16,34	63,02 ± 13,12	-3,521	17	.003
Alpha-Ketoglutar Säure	mg/g Kreatinin	3,05 ± 3,05	2,31 ± 2,33	0,788	17	.441
Bernsteinsäure	mg/g Kreatinin	4,31 ± 1,51	4,10 ± 2,80	0,239	17	.814
Fumarsäure	mg/g Kreatinin	1,11 ± 0,63	1,20 ± 0,71	-0,341	17	.737
Äpfelsäure	mg/g Kreatinin	0,37 ± 0,18	0,38 ± 0,28	-0,159	17	.875
Pyruvat	mg/g Kreatinin	2,59 ± 2,28	2,23 ± 1,34	0,599	17	.557

4 Ergebnisdiskussion

Obwohl bei der Herzfrequenz der IANS im Gegensatz zu den anderen schwelenzugehörigen Parametern keine statistische Signifikanz vorliegt, sprechen die Ergebnisse eindeutig für eine Optimierung der **Ausdauerfähigkeit** durch komprimierende Bekleidung.

Bei der Betrachtung der **Erholungsphase** direkt nach dem Stufentest fällt auf, dass die Sportler mit Kompressionsbekleidung einen schnelleren Laktatabbau vorweisen und das, obwohl sie insgesamt höhere Schwellen und niedrigere Herzfrequenzen erzielt haben. Dieser Zusammenhang kann ein erstes Indiz für eine verbesserte Regenerationsfähigkeit sein.

Die Untersuchung des **Energiestoffwechsels** zeigt signifikante Ergebnisse bei der Cis-Aconitsäure, die bei dem Test ohne Kompressionsbekleidung einen drastischen Anstieg in Richtung Funktionseinschränkung verzeichnet. Da hohe Konzentrationen der Cis-Aconitsäure zu einer starken Ammoniakbildung und zu einer schnellen Ermüdung des zentralen Nervensystems führen, lassen sich bei den Probanden ohne Kompressionsunterstützung also erste funktionelle Einflüsse im Energiestoffwechsel nachweisen, die vermutlich sowohl die sportliche Belastbarkeit als auch die Regenerationsfähigkeit negativ beeinflussen. Um diese Vorgänge noch besser zu verstehen, wird die Carbonsäure nachfolgend detaillierter beschrieben:

Erniedrigte Konzentrationen der **Cis-Aconitsäure** sind auf Aktivitätseinschränkungen der Enzyme in Folge eines Mangels an Aminosäuren und/oder Eisen zurückzuführen. So ist die Funktionsfähigkeit des Enzyms Cis-Aconitase, das Zitronensäure in Cis-Aconitsäure umwandelt, abhängig von einer ausreichenden Versorgung mit Sulfhydrylgruppen der Aminosäuren Methionin, Cystein und Glutathion sowie von zweiwertigem Eisen. Eine Unterversorgung mit diesen Mikronährstoffen, Schwermetalle mit einer hohen Affinität zu Sulfhydrylgruppen (Quecksilber, Antimon, Arsen), oxidativer Stress sowie Xenobiotika verschlechtern die Aktivität dieses Enzyms. Dies hat eine Akkumulation von Zitronensäure zur Folge. Hohe Konzentrationen gehen mit einem niedrigen Arginingehalt einher. Cis-Aconitsäure ist als ein weiteres Intermediärprodukt des Zitratzyklus in den Harnstoffzyklus involviert und unterstützt die Ammoniakkonzentration.

5 Weitere Ergebnisse

Mikronährstoffe wie Magnesium, Zink, Selen und Ferritin sind bei dieser Studie weder zentrale Messkriterien noch Gegenstand geplanter empirischer Untersuchungen. Da Defizite im Mikronährstoffhaushalt sowohl die Ausdauerleistungsfähigkeit als auch die Regeneration beeinflussen können, kam während der Auswertung die Idee, Zusammenhänge zwischen den intrazellulär gemessenen Parametern Magnesium, Zink, Selen und Ferritin (Verfahren: Atomabsorptionsspektrometrie) und den zentralen Messkriterien IANS, FS und dem funktionellen Energiestoffwechsel zu analysieren. Tabelle 5-1 zeigt die Werte der berechneten Korrelationskoeffizienten r_{xy} nach Pearson:

Tab. 3-2: Zusammenhangsprüfungen zwischen den verschiedenen Parametern

Parameter	Magnesium		Zink		Selen		Ferritin	
	r_{xy}	<i>N</i>	r_{xy}	<i>N</i>	r_{xy}	<i>N</i>	r_{xy}	<i>N</i>
mit Kompression								
Zitronensäure	-0,268	19	0,28	19	0,474*	19	-0,94	19
Cis-Aconitsäure	-0,275	19	0,673	19	0,647	19	0,638	19
Alpha-Ketoglutarinsäure	0,734	19	0,500	19	0,794	19	0,267	19
Bernsteinsäure	0,183	19	-0,137	19	0,686**	19	0,275	19
Fumarsäure	0,411	19	0,251	19	-0,18	19	-0,131	19
Äpfelsäure	-0,418	19	-0,231	19	0,594**	19	0,105	19
Pyruvat	-0,120	19	0,209	19	0,492*	19	-0,140	19
ohne Kompression								
Zitronensäure	0,137	18	0,101	18	0,521*	18	-0,059	18
Cis-Aconitsäure	0,423	18	0,068	18	0,462	18	-0,030	18
Alpha-Ketoglutarinsäure	0,129	18	-0,234	18	0,189	18	0,264	18
Bernsteinsäure	-0,147	18	-0,352	18	-0,388	18	-0,231	18
Fumarsäure	-0,236	18	-0,034	18	-0,222	18	-0,251	18
Äpfelsäure	0,163	18	-0,131	18	0,435	18	-0,187	18
Pyruvat	-0,082	18	-0,334	18	-0,142	18	-0,056	18

Anmerkungen: * Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .05$ (2-seitig) signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .01$ (2-seitig) hoch signifikant.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Ergebnisse zwischen der Selenkonzentration und vier biochemischen Parametern des Energiestoffwechsels bei dem Test mit Kompressionsbekleidung. Bei dem Test ohne Kompression ist lediglich der Zusammenhang mit Selen und der Zitronensäure statistisch signifikant.

5 Fazit

Die Kompressionsbekleidung ist demnach nicht nur eine Möglichkeit der Leistungsoptimierung, sondern ihr kommt vor dem Hintergrund immer höher werdenden, sportlichen Belastungen (Trainingsumfänge und -intensitäten) eine zentrale Bedeutung in Bezug auf die Regeneration zu. Ob die komprimierenden Textilien auch dauerhaft und über längerfristige Trainingszyklen präventiv gegen Blockaden bzw. Einschränkungen bei der Energiegewinnung wirken, müsste in zukünftigen Untersuchungen geklärt und einzelne Zusammenhänge noch weiter bestätigt werden.

Interessant sind außerdem die Ergebnisse der zusätzlich berechneten Korrelationen, die bei der Kompression teilweise sogar hoch signifikante Zusammenhänge zwischen Selen und fast allen Parametern des funktionellen Energiestoffwechsels aufzeigen. Die Kompressionsbekleidung scheint den Transport einzelner Mikronährstoffe in die einzelnen Zellstrukturen zu verbessern und somit bestimmte Stoffwechselprozesse im funktionellen Energiestoffwechsel zu optimieren. Dies ist ein interessanter neuer Ansatz, den es in weiteren Studien zu belegen und zu erforschen gilt.

6 Weiterführende Literatur

Duffield, R & Portus, M. Comparison of three of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players. *British Journal of Medicine* 2007; 41: 409 - 414

Hängerle, S M. Kompressionsbekleidung und ihre Auswirkungen auf die sportlicher Leistungsfähigkeit unter der Berücksichtigung respiratorischer, metabolischer sowie psychologischer Parameter. Köln 2008

Kemmler W et al. Einfluss von kompressiven Sportstrümpfen auf leistungsphysiologische und physikalische Parameter bei ambitionierten Hobbyläufern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2009; 7-8: 203

Simon G, Berg A, Dickhuth H-H, et al. Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit von Alter und von der Leistungsfähigkeit. *Dtsch Z Sportmed* 1981; 32: 7-14, zitiert nach: Oliver Faude, Wilfried Kindermann, Tim Meyer: Lactate Threshold Concepts. In: *Sports Medicine*. 39, Nr. 6, 2009, S. 469 - 490

Sperlich B et al. Zum Einsatz von Kompressionstextilien zur Leistungssteigerung und Regenerationsförderung im Leistungssport. *Sportverl Sportschad* 2011; 25: 227 - 234