



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Interpretation physiologischer und subjektiver  
Regenerationsparameter  
bei Anwendung von Kryotherapie nach erschöpfender  
Belastung“

verfasst von / submitted by

Nora Sulan

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree  
of

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

A 190 482 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Diplomstudium UF Bewegung und Sport,  
UF Mathematik

Betreut von / Supervisor:

emer. o. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bachl



# Zusammenfassung

## *Zielsetzung:*

Das Ziel dieser Arbeit ist, den Effekt einer Intervention mittels Kryotherapie gegenüber einer passiven Regeneration anhand der Regenerationsparameter HRV, DOMS und Ankle Hop zu analysieren und zu interpretieren.

## *Methodik:*

Der Effekt von Kryotherapie als Intervention im Vergleich zu einer passiven Regeneration wird anhand einer empirischen Studie untersucht. 12 Probanden absolvieren an zwei unterschiedlichen Tagen vier Durchgänge einer maximalen Ausdauerbelastung (Berglauf) auf einem Laufbandergometer. Beim Testlauf wird in der Regenerationsphase nach den Ausbelastungen eine Kryokompressionshose getragen, beim Kontrolllauf erfolgt eine passive Regeneration. Der Ankle Hop wird nach jedem Durchgang sowie 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs durchgeführt. DOMS wird zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs anhand einer 100 mm VAS gemessen. Die HRV-Parameter rMSSD und SDNN werden im Anschluss an den Test- und Kontrolllauf im Zeitraum von 02:00 bis 03:00 Uhr sowie 01:00 bis 05:00 Uhr analysiert. Die statistische Datenauswertung erfolgt mit Microsoft Excel und SPSS Statistics.

## *Ergebnisse:*

Kryotherapie hat einen signifikant positiven Effekt auf DOMS zum Zeitpunkt 72 Stunden ( $p=0,011$ ), hinsichtlich der längerfristigen HRV in der Zeitspanne 02:00 bis 03:00 Uhr des Parameters rMSSD ( $p=0,041$ ) und auf den SKI, gemessen am Ankle Hop, zum Zeitpunkt 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs in Bezug auf die Baseline (0) in % ( $p=0,044$ ). Außerdem ist beim Ankle Hop ein Trend hin zu einem Interaktionseffekt von Gruppe und Zeit ( $p=0,088$ ) zu sehen, welcher die Intervention in Form von Kryotherapie befürwortet.

## *Schlussfolgerung:*

Insgesamt ist in allen Parametern ein Trend hinsichtlich eines positiven Effekts von Kryotherapie zu erkennen. Die Resultate sind in Anbetracht der geringen Probandenanzahl mit Vorsicht zu genießen.



# Abstract

## *Purpose:*

The aim of this thesis is to analyse and interpret the effect of cryotherapy compared to a passive intervention on recovery, inferred from HRV, DOMS and Ankle Hop.

## *Methods:*

The effect of cryotherapy compared to passive intervention is examined by an empirical study. 12 male volunteers complete four rounds of an all-out stress (mountain run) on a treadmill on two different days. The test run is done with a pair of cold trousers during the regeneration phase, the control run with passive regeneration. The Ankle Hop is performed after each mountain run and 24 hours after the last mountain run. DOMS is measured 24, 48, 72 and 96 hours after the last mountain run with a 100 mm VAS. The HRV parameters rMSSD and SDNN are analysed after the test and the control run in the period from 02:00 to 03:00 and from 01:00 to 05:00. Microsoft Excel and SPSS Statistics were used to conduct the analysis.

## *Results:*

Cryotherapy has a significantly positive effect on DOMS at 72 hours ( $p=0.011$ ), on the longer term HRV index rMSSD from 02:00 to 03:00 ( $p=0.041$ ) and on the ankle hop (SKI) 24 hours after the last mountain run compared to the baseline (0) in % ( $p=0.044$ ). In addition, considering the interaction effect of group and time ( $p=0.088$ ) of the Ankle Hop, cryotherapy is likely to be more effective for recovery.

## *Conclusion:*

One can conclude that there is a trend towards a positive effect of cryotherapy in all parameters. However the results must be viewed with caution due to low number of study participants.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1 Wissenschaftliche Relevanz	11
1.2 Aktueller Forschungsstand	11
1.2.1 Auswirkungen von Kryotherapie auf DOMS	13
1.2.2 Auswirkungen von Kryotherapie auf die HRV (das ANS)	15
1.3 Ziel der Studie	18
1.4 Überblick der Arbeit	18
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>21</b>
2.1 Feinstruktur der quergestreiften Skelettmuskelzelle	21
2.2 DOMS (Delayed onset muscle soreness)	23
2.2.1 Kryotherapie als Prävention und Regeneration	24
2.2.2 Quantifizierung von DOMS	25
2.2.2.1 Vor- und Nachteile der VAS	26
2.2.2.2 Wahl der Zeitpunkte	26
2.3 Herzratenvariabilität (HRV)	27
2.3.1 Das autonome Nervensystem	27
2.3.2 Geschichte der HRV	27
2.3.3 Definition der Herzratenvariabilität	28
2.3.4 HRV-Rekorder medilog AR12 plus	29
2.3.5 Maßzahlen	30
2.3.5.1 SDNN	31
2.3.5.2 rMSSD	32
2.3.6 Einflussfaktoren der individuellen HRV	32
2.3.6.1 Sportliche Aktivität	32
2.3.6.2 Atmung	33
2.3.6.3 Lebensalter und Geschlecht	34
2.3.6.4 Alkohol und Rauchen	34
2.3.6.5 Weitere Einflussfaktoren	34
2.3.7 Wahl des Messzeitraums	35
2.4 Ankle Hop	35
<b>3 Empirischer Teil</b>	<b>37</b>
3.1 Studiendesign	37

3.2	Probandenauswahl .....	37
3.2.1	Einschlusskriterien .....	38
3.2.2	Ausschlusskriterien .....	38
3.2.3	Anzahl der tatsächlichen Studienteilnehmer .....	38
3.3	Voruntersuchung .....	39
3.4	Ablauf des Test- bzw. Kontrolllaufs .....	40
3.4.1	Aufwärmphase (10 Minuten) .....	43
3.4.2	Belastungsphase (All Out) .....	43
3.4.3	Regenerationsphase (30 Minuten) .....	44
3.5	Die Kryokompressionshose .....	45
3.6	Ernährungsstandards .....	47
3.7	HRV .....	47
3.8	DOMS mittels VAS .....	48
3.9	SKI mittels Ankle Hop .....	48
3.10	Weitere Rahmenbedingungen .....	49
<b>4</b>	<b>Konkrete Fragestellung .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>Statistische Datenauswertung .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>55</b>
6.1	DOMS .....	55
6.1.1	Einfache Vergleiche der jeweiligen Zeitpunkte .....	55
6.1.2	Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte .....	57
6.2	Herzratenvariabilität (HRV) .....	58
6.2.1	rMSSD .....	58
6.2.2	SDNN .....	59
6.3	Ankle Hop .....	61
6.3.1	Einfache Vergleiche der jeweiligen Zeitpunkte .....	61
6.3.2	Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte .....	63
<b>7</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>65</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>81</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>83</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>85</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>87</b>



## **Vorwort**

An dieser Stelle möchte ich mich bei emer. o. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bachl für die Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Des weiteren bedanke ich mich herzlich bei euch, Bernhard und Barbara, für die wertvolle fachliche Unterstützung während der Studie und bei der Auswertung der Daten. Ein großes Dankeschön richtet sich an Bianca und Michi, die das gemeinsame Forschungsprojekt zu einer unvergesslichen Studienerfahrung gemacht haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen engsten Vertrauten, die mir immer zur Seite stehen und bei all meinen Projekten große Unterstützung entgegenbringen.



# **1 Einleitung**

## **1.1 Wissenschaftliche Relevanz**

Eine schnelle Wiederherstellung nach intensiver Belastung bzw. die Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit über einen möglichst langen Zeitraum rückt vorwiegend im Leistungssport immer mehr in den Vordergrund des Trainings- und Wettkampfalltages. Um möglichst optimale Bedingung für Athletinnen und Athleten zu schaffen, haben sich besonders in den letzten Jahren zahlreiche Regenerationsmethoden weiterentwickelt. Neben Physiotherapie, Massage, Bewegung, Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln sowie pharmakologischen Mitteln hat sich mittlerweile die Intervention in Form von Kryotherapie zur beschleunigten Regeneration etabliert und gehört zu den populärsten Regenerationstechniken im Leistungssport (Stanley, Peake & Buchheit, 2013; Vaile, Halson, Gill & Dawson, 2008).

Kryotherapie, eine gezielte Anwendung von Kälte, kann in unterschiedlicher Form erfolgen. Aufgrund der guten Verfügbarkeit und des geringen Kostenaufwands werden bevorzugt Tauchbäder (CWI – cold water immersion) oder Eispackungen angewendet. Neben einem muskelentspannenden Effekt hat Kryotherapie außerdem eine entzündungshemmende, abschwellende und schmerzlindernde Wirkung.

Eine allgemeingültige Empfehlung hinsichtlich der Wassertemperatur, Dauer der Kälteanwendung oder optimalen Methode bleibt bis zum derzeitigen Stand der Wissenschaft aus. Ziel dieser Studie ist es, die Wirkung von CWI im Vergleich zu einer passiven Regeneration im Rahmen einer intensiven Ausdauerbelastung zu überprüfen. Die gewonnen Erkenntnisse sind sowohl für die Sportmedizin, den Leistungssport als auch für Athletinnen und Athleten im Bereich des Hobbysports von Bedeutung.

## **1.2 Aktueller Forschungsstand**

Leistungssportlerinnen und Leistungssportler sind ständig mit intensiven Trainings- und Wettkampfperioden konfrontiert. Intensive sportliche Belastung geht mit einer zunehmenden Ermüdung einher und kann sich negativ auf die Leistungsfähigkeit von Athletinnen und Athleten auswirken (Vaile et al., 2008). Komplexe physiologische Störungen wie etwa Muskelschädigungen, Hyperthermie, Dehydration oder die Entleerung der Glykogenspeicher können Folgen intensiven Trainings sein. Je nach Sportart und Intensität der Belastung kommt es zu unterschiedlichen Graden der Ermüdung des muskuloskelettalen und metabolischen Systems und des Nervensystems

(Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys & Clijnen, 2015). Ein unzureichender Erholungsprozess kann zu einer suboptimalen Performance in aufeinanderfolgenden Trainingseinheiten führen, aber auch längerfristig ein Ungleichgewicht der Homöostase (Overreaching oder Overtraining Syndrom) zur Folge haben (Ihsan, Watson & Abbiss, 2016). Eine adäquate Regenerationsphase zwischen Trainingseinheiten und/oder Wettkämpfen ist daher für die Minimierung des Risikos von Ermüdung und der Optimierung der Leistungsfähigkeit essentiell (Stanley et al., 2013; Vaile et al., 2008; Ihsan et al., 2016).

Unter einer Vielzahl von Regenerationsmethoden im Sport hat sich in den letzten Jahren Kryotherapie als beliebte Maßnahme etabliert. Bevorzugt wird Kryotherapie in Form von CWI nach sportlicher Aktivität angewendet. Die Vorteile sind v.a. in dem relativ geringen Kostenaufwand und der weitreichenden Verfügbarkeit zu sehen. Hohenauer et al. (2015) analysieren in ihrer Metaanalyse insgesamt 36 Studien hinsichtlich ihrer Methoden und Resultate. Die mit Abstand häufigste Kälteapplikation, die in 28 der analysierten Studien zur Anwendung kam ist CWI der unteren Extremitäten. Bei 15 jener Studien wurde ein Temperaturbereich zwischen 5 °C und 10 °C gewählt, die Wassertemperatur der verbleibenden 13 Studien betrug zwischen 11 °C bis 15 °C. Für die übrigen acht Studien kamen unterschiedliche Kryotherapiemethoden wie WBC (whole body cryotherapy) in Kältekammern und Eispackungen zur Anwendung.

Durch die gezielte Anwendung von Kälte kommt es in erster Linie zu einer Veränderung der Blutzirkulation und Thermoregulation (Vaile et al., 2010). Die Gewebstemperatur wird herabgesetzt, was zu einer Verengung der Blutgefäße und reduziertem Blutfluss ebendort führt.

Folglich sollen sowohl akute Erholungsmechanismen, welche die Reduktion der durch Hyperthermie bedingte Ermüdung, den Abbau von Stoffwechselprodukten und der Wiederherstellung des Ungleichgewichtes des Herz-Kreislaufsystems beinhalten, als auch längerfristige Mechanismen angeregt werden (Ihsan et al., 2016). In der Literatur herrschen nach wie vor kontroverse Ansichten und Beweislagen hinsichtlich des abbauenden Effekts von Stoffwechselprodukten in Verbindung mit Kälteapplikation. Laut Ihsan et al. (2016) wird für die Terminologie der *akuten* Regeneration ein Zeitraum von maximal 60 Minuten festgelegt, *längerfristige* Regeneration wird für einen Zeitraum von zwei Stunden bis zu einer Woche definiert. Trotz starker Hinweise auf einen positiven Effekt von CWI auf akute und längerfristige Erholungsparameter, bleiben präzise Faktoren und Mechanismen weiterhin ungeklärt.

Längerfristig ist mit einer Verbesserung der Funktion des autonomen Nervensystems bzw. der Aktivität des Parasympathikus und der Reduktion muskulärer Schäden (EIMD bzw. DOMS) nach einer Anwendung von CWI zu rechnen (Ihsan et al., 2016).

Die Wirkung von CWI auf EIMD (exercise induced muscle damage) scheint allerdings von der Wahl der Sportart abzuhängen. Unklare Effekte von CWI sind beispielsweise bei eingelenkigen exzentrischen Muskelkontraktionen (Eston & Peters, 1999; Jakeman, Macrae & Eston, 2009; Paddon-Jones & Quigley, 1997; Pointon, Duffield, Cannon & Marino, 2011; Vaile et al., 2008) in der Literatur zu finden, während sich CWI bei ausdauernden oder intermittierenden, den ganzen Körper betreffenden Belastungen positiv auf die Linderung von EIMD bzw. DOMS (delayed onset muscle soreness) auswirkt (Ascensão, Leite, Rebelo, Magalhães & Magalhães, 2011; Bailey et al., 2007; Ingram, Dawson, Goodman, Wallman & Beilby, 2009; King & Duffield, 2009; Minett et al., 2014; Rowsell, Coutts, Reaburn & Hill-Haas, 2011).

Eine Aktivierung des Parasympathikus mag auf den ersten Blick mit dem Anspruch, hochintensive Leistungen erbringen zu wollen, widersprüchlich erscheinen. Dieser Effekt wird jedoch mit einer längerfristigen, physiologischen Erholung und einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit von aufeinanderfolgenden Belastungseinheiten assoziiert (Ihsan et al., 2016).

### **1.2.1 Auswirkungen von Kryotherapie auf DOMS**

Zu sportmedizinischen Zwecken wird die Auswirkung der Kryotherapie (CWI) auf Basis von subjektiven und objektiven Parametern messbar gemacht. DOMS wird meist durch subjektive Parameter bestimmt, während beispielsweise diverse Blutparameter (CK, GLU) auf objektivem Weg Aufschluss über den Grad des Ermüdungszustands geben sollen (Hohenauer et al., 2015). Die wissenschaftliche Relevanz der subjektiven Parameter zeigt sich in den Resultaten zahlreicher Studien. Insgesamt konnten laut Hohenauer et al. (2015) signifikant positive Effekte ausschließlich anhand von subjektiven Charakteristika wie z.B. der Bewertung von DOMS anhand einer VAS (visual analogue scale) gefunden werden. Objektive Regenerationsparameter zeigten bisher keine signifikanten Effekte.

Trotz widersprüchlicher Publikationen der vergangenen Jahre (Brophy-Williams, Landers & Wallman, 2011; Corbett, Barwood, Lunt, Milner & Tipton, 2012; Pournot et al., 2011; Takagi et al., 2011) überwiegen die Hinweise auf die Überlegenheit von CWI gegenüber einer passiven Erholung bei der Behandlung von DOMS. Sowohl in der Metaanalyse von Bleakley et al. (2012) als auch von Leeder, Gissane, van Someren, Gregson und Howatson (2012) konnte CWI als effektive Strategie zur Bekämpfung der Symptome von

DOMS nach einer Vielzahl von intensiven und ermüdenden Belastungen nachgewiesen werden. Die Autoren stellten einen signifikanten Unterschied zwischen den Interventionen fest, welcher Kryotherapie als bevorzugte Maßnahme gegenüber einer passiven Intervention empfiehlt. Die signifikanten Unterschiede beziehen sich auf eine Zeitspanne bis zu 96 Stunden nach dem Belastungsreiz. Auch Hohenauer et al. (2015) zeigen in ihrer Metaanalyse einen nachteiligen Effekt von passiver Erholung gegenüber einer Kryotherapie bei der Reduktion von Symptomen von DOMS. Darüber hinaus werden im Rahmen der zusammengefassten Studien Richtwerte hinsichtlich der optimalen Temperaturwahl und Dauer der Kälteanwendung präsentiert. Die Durchschnittstemperatur beträgt 10 °C und die Dauer der Intervention 13 Minuten.

Überraschend ist, dass trotz der zahlreichen Studien und Metaanalysen zu den Auswirkungen von Kryotherapie auf DOMS bislang keine allgemein gültigen Standards gefunden werden konnten, weder für die optimale Methode noch zur einheitlichen Quantifizierung von DOMS. In den meisten Fällen wird auf subjektive Ratingskalen zurückgegriffen (Hohenauer et al., 2015), was, wie auch bei der Wahl der Kryotherapiemethode, wohl auf den relativ geringen Aufwand und die dennoch verlässlichen Resultate (Cleather & Guthrie, 2007) zurückzuführen ist. Als weitere Hürden für eindeutige Resultate werden von Hohenauer et al. (2015) und Bleakley et al. (2012) statistische Fehlinterpretationen und eine ungünstige Wahl der Studienpopulationen genannt. Die Wahl der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer kann einen großen Einfluss auf die Reliabilität der Ergebnisse haben. In jüngster Zeit wurde beispielsweise ein starker Zusammenhang zwischen dem Effekt von Kälteapplikation und dem Ausmaß von Fettgewebe vermutet (Hohenauer et al., 2015). Dieser Erkenntnis entsprechend müsste die Wahl der Temperatur und Anwendungsdauer individuell angepasst werden, um vergleichbare Effekte erhalten zu können. Zu geringe Teilnehmerinnen- und Teilnehmerzahlen und inhomogene Gruppen von Probandinnen und Probanden wurden ebenso bemängelt. Weitere Limitationen sind die große Variation von Belastungsreizen und passiven Erholungsstrategien (Bleakley et al., 2012; Hohenauer et al., 2015) sowie die uneinheitliche Präsentation der Studienergebnisse. Empfehlenswert wäre, neben der Darstellung von Graphen und Diagrammen ohne detaillierte Erklärungen, eine Präsentation der Rohdaten. Durch das Heranziehen von Daten aus Diagrammen steigt das Risiko für Fehlinterpretationen statistischen Datenmaterials (Hohenauer et al., 2015).

All diese Faktoren erschweren eine korrekte Interpretation von Metaanalysen und die Entwicklung optimaler Standards und sind folglich für zukünftige Studien zu berücksichtigen.

### **1.2.2 Auswirkungen von Kryotherapie auf die HRV (das ANS)**

Die Funktion des autonomen Nervensystems wird als wichtiger globaler Parameter zur Einschätzung des Regenerationsstatus und der aktuellen Leistungsfähigkeit gesehen (Stanley et al., 2013; Hautala, Kiviniemi & Tulppo, 2009). Tatsächlich korrelieren bestimmte Maßzahlen parasympathischer Aktivität mit zahlreichen, durch intensive Belastungen ausgelösten, physiologischen Störungen während der Regenerationsperiode. Mit der Messung der Herzratenvariabilität (HRV) ist eine nicht-invasive Methode gefunden worden, um die Effektivität von Regenerationsinterventionen messbar zu machen (Ihsan et al., 2016).

CWI führt zu einer Zunahme des zentralen Blutvolumens und stellt eine ideale Methode dar, um die parasympathische Reaktivierung zu beschleunigen. Durch die gezielte Anwendung von Kälte in Form von Tauchbädern kommt es einerseits zu hydrostatischem Druck, andererseits zu einer Reduktion der Gewebstemperatur und somit zu einer sogenannten Vasokonstriktion (Ihsan et al., 2016). Unter Vasokonstriktion wird die Verringerung des Querschnitts von Blutgefäßen und somit der Durchblutung der betroffenen Gefäßabschnitte (Bleakley et al., 2012) verstanden. Eine Vasokonstriktion in der Peripherie führt zu einer Steigerung des zentralvenösen Blutdrucks. Somit kommt es zu einer Steigerung des zentralen Blutvolumens und folglich zu einer Zunahme des Schlag- und Herzzeitvolumens. Infolgedessen werden arterielle und kardiopulmonale Baroreflexe aktiviert (Pump et al., 2001), welche wiederum sympathische Aktivität hemmen und parasympathische Aktivität steigern (Gabrielsen, Johansen & Norsk, 1993; Pump et al., 2001). Vaile et al. (2010) beobachteten, dass eine periphere Vasokonstriktion zumindest bis zu einer Stunde nach der Anwendung von CWI aufrecht erhalten werden kann. Ob diese akute Auswirkung ebenso für einen längeren Zeitraum gültig ist, konnte trotz positiven Effekts von CWI auf die HRV bei Al Haddad, Parouty und Buchheit (2012) nicht ermittelt werden. Der eben beschriebene Effekt von CWI auf die parasympathische Aktivität wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

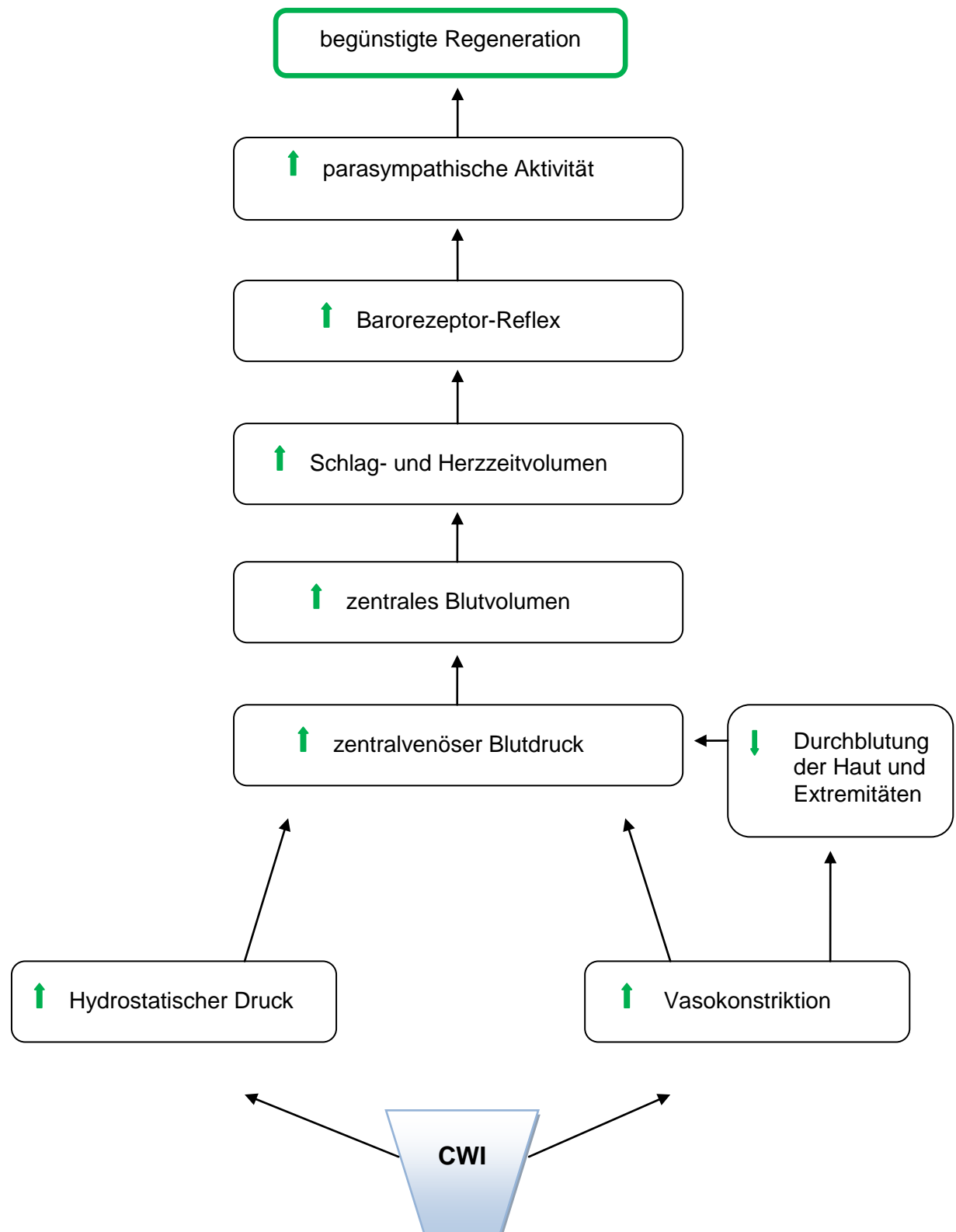


Abb. 1: Auswirkungen von CWI auf das ANS (mod. n. Ihsan et al., 2016)

↑ = Zunahme; ↓ = Abnahme



Diese Mechanismen lassen darauf schließen, dass CWI durch die Steigerung parasympathischer Aktivität der allgemeinen physiologischen Regeneration dient. Umso überraschender ist die Tatsache, dass sich bisher nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl an Studien mit den resultierenden Effekten auseinandergesetzt hat (Al Haddad et al., 2012; Bastos et al., 2012; Buchheit, Peiffer, Abbiss & Laursen, 2009; Parouty et al., 2010; Stanley et al., 2013; Stanley, Buchheit & Peake, 2012). Während Effekte parasympathischer Reaktivierung eine nachteilige Wirkung auf die Leistungsfähigkeit nachfolgender Belastungen haben kann, scheint eine Kälteintervention vorteilhafte, längerfristige Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit zu haben (Al Haddad et al., 2012; Stanley et al., 2013). Buchheit et al. (2009) und Stanley et al. (2012) konnten keinen förderlichen Effekt von CWI auf die Leistungsfähigkeit folgender physischer Belastungen feststellen. Parouty et al. (2010) berichten sogar von einer verminderten Leistungsfähigkeit. Diese Resultate können allerdings durch die Tatsache entkräftet werden, dass die CWI-Anwendung im Protokoll von Stanley et al. (2012) fünf Minuten bei 14 °C betrug und somit nur ein minimaler Einfluss auf die Körperkerntemperatur zu erwarten ist. Buchheit et al. (2009) und Parouty et al. (2010) untersuchten den Effekt von CWI auf parasympathische Aktivität anhand von Sprint-basierenden Belastungen im Bereich von 60 bis 80 Sekunden. Demnach ist nicht mit einer signifikanten thermoregulatorischen Belastung zu rechnen, welche durch die Anwendung von CWI positiv beeinflusst hätte werden können (Ihsan et al., 2016).

In der Studie von Al Haddad et al. (2012) wurde der Effekt von CWI auf die parasympathische Herzaktivität leistungsstarker Schwimmerinnen und Schwimmer in einer Trainingswoche untersucht. Die HRV-Parameter SDNN und rMSSD wurden an den jeweiligen folgenden Tagen nach den Trainingseinheiten um 06:30 Uhr morgens, etwa 12 Stunden nach der CWI, gemessen. Erstmals konnte ein positiver Effekt von CWI auf die autonome Herzaktivität nach mindestens 12 Stunden nachgewiesen werden. Eine, durch physische Belastung ausgelöste, Reduktion parasympathischer Maßzahlen der HRV während einer Trainingswoche wurde in den Studien von Hautala et al. (2001) und Seiler, Haugen und Kuffel (2007) über einen Zeitraum von 24 und 72 Stunden beobachtet. Der in der Studie von Al Haddad et al. (2012) beobachtete positive Effekt von CWI auf die kardiale parasympathische Aktivität steht außerdem im Einklang mit zwei bisher veröffentlichten Studien, in welchen eine erhöhte parasympathische Reaktivierung nach 5-minütiger CWI ermittelt werden konnte (Al Haddad et al., 2010; Buchheit et al., 2009).

In einer aktuell publizierten Studie (Almeida et al., 2016) wurde der Effekt von CWI in unterschiedlichen Dosen über unterschiedliche Zeiträume auf die HRV nach vorhergehender physischer Belastung getestet. Die Ergebnisse zeigen wiederum, dass 60

Minuten Regeneration mit Kälteintervention nach hochintensiver Belastung ausreichend zur Wiederherstellung der autonomen Funktionen sind, unabhängig von der Wahl der Methode. Als besonders effektiv hat sich eine Dauer von 15 Minuten bei 14 °C herausgestellt. Außerdem konnte festgestellt werden, dass sich CWI als effektive Methode für die Beschleunigung der Regeneration autonomer Herzaktivität eignet. In den Ergebnissen der Messungen von SDNN und rMSSD zeigt sich unabhängig von der Wahl der CWI-Methode im Vergleich zur Kontrollgruppe eine schnellere Wiederherstellung.

Der Überblick über den aktuellen Forschungsstand weist viele Uneinigkeit und wenige allgemeingültige Empfehlungen auf. Derzeit sind weder einheitliche Methoden zur Kryotherapieanwendung, noch exakte Mechanismen physiologischer Effekte geklärt. Diese Tatsache macht die Kryotherapie zu einem der spannendsten aktuellen Forschungsgebiete der Sportmedizin und beschert der Wissenschaft viel Kopfzerbrechen.

### **1.3 Ziel der Studie**

Ziel der Studie ist es, den Effekt von Kryotherapie als regenerative Intervention im Vergleich zu einer passiven Regeneration nach jeweils vier Ausbelastungen auf einem Laufbandergometer mit konstanter Geschwindigkeit und zunehmender Steigung zu ermitteln. Die Kryotherapie wird als Teilkörpertherapie durch das Tragen einer Kälte Hose (Firma: Aquilo Sports GmbH, Schweiz) auf die unteren Extremitäten angewendet.

Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf der Untersuchung und Interpretation der längerfristigen Regenerationsparameter. Im Speziellen werden Parameter der HRV, DOMS anhand einer VAS und der Schnellkraftindex (SKI) anhand eines Ankle Hops ermittelt, um den Effekt einer Intervention mittels CWI gegenüber einer passiven Regeneration zu analysieren.

### **1.4 Überblick der Arbeit**

Diese Arbeit befasst sich mit der Beschreibung und Analyse von Resultaten einer am ÖISM (Österreichisches Institut für Sportmedizin) durchgeführten Studie, in welcher die Auswirkungen von Kryotherapie nach intensiver ausdauernder Belastung untersucht wurden. Der Fokus dieser Arbeit wird auf die Analyse der Regenerationsparameter gelegt. Die Arbeit gliedert sich insgesamt in 7 Kapitel:

Eingangs in *Kapitel 1* wird mit der wissenschaftlichen Relevanz und dem aktuellen Forschungsstand in die Thematik eingeführt.

In *Kapitel 2* werden zunächst auf aktueller Literatur basierende theoretische Grundlagen beschrieben, die dem besseren Verständnis der physiologischen Auswirkungen der Kombination eines ausdauernden Belastungsreizes mit einer Kryotherapie und der untersuchten Parameter dieser Effekte dienen.

Im folgenden *Kapitel 3* wird auf den empirischen Teil, das Studiendesign und den genauen zeitlichen und inhaltlichen Ablauf der Studie detailliert eingegangen. Anschließend wird in *Kapitel 4* ein kurzer Überblick über die konkrete Fragestellung und Hypothesen dieser Arbeit gegeben und in *Kapitel 5* der methodische Vorgang der statistischen Datenauswertung näher beschrieben.

*Kapitel 6* beschäftigt sich mit der grafischen Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse der in dieser Arbeit thematisierten Parameter.

Anschließend werden in *Kapitel 7* alle Resultate und gewonnen Erkenntnisse anhand des aktuellen Forschungsstands analysiert, interpretiert und diskutiert und persönliche Stellungnahmen dargeboten. Schließlich werden die Ergebnisse der Studie nochmals in einer kurzen Zusammenfassung erläutert.



## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Feinstruktur der quergestreiften Skelettmuskelzelle

Ein Skelettmuskel besteht zu 85 % bis 90 % aus Muskelzellen. Im Verhältnis zu ihrem Querschnitt, der durchschnittlich 20  $\mu\text{m}$  (zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 90  $\mu\text{m}$ ) beträgt, ist die Muskelzelle extrem lang und wird daher auch oft als Muskelfaser bezeichnet. Der M. biceps brachii besteht z.B. aus ca. 2 000 000 Muskelzellen, die bis zu 15cm lang werden können. Muskelfasern setzen sich wiederum aus kleineren Zellorganen zusammen. Myofibrillen, die in etwa 50 % der Zellmassen ausmachen, befähigen die Muskelzelle zur Spannungsentwicklung. Die Myofibrillen sind lange, parallel angeordnete Eiweißketten, die in Längsrichtung von einem zum anderen Ende der Muskelzelle ziehen. Unter einem Lichtmikroskop betrachtet, sind Querstreifen der Muskelzelle zu erkennen. Dieses quergestreifte Muster entsteht durch die Anordnung heller (I-Band) und dunkler (A-Band) Zonen, welche sich regelmäßig abwechseln. Dieses typische Aussehen einer Skelettmuskelzelle ist verantwortlich für ihren Namen *quergestreifte Muskelzelle* im Unterschied zur glatten Muskelzelle, die vorwiegend in Organen zu finden ist, sowie der Herzmuskelzelle (Markworth, 2009, S. 28-31). In der folgenden Abbildung wird der Aufbau eines quergestreiften Muskels grafisch dargestellt.

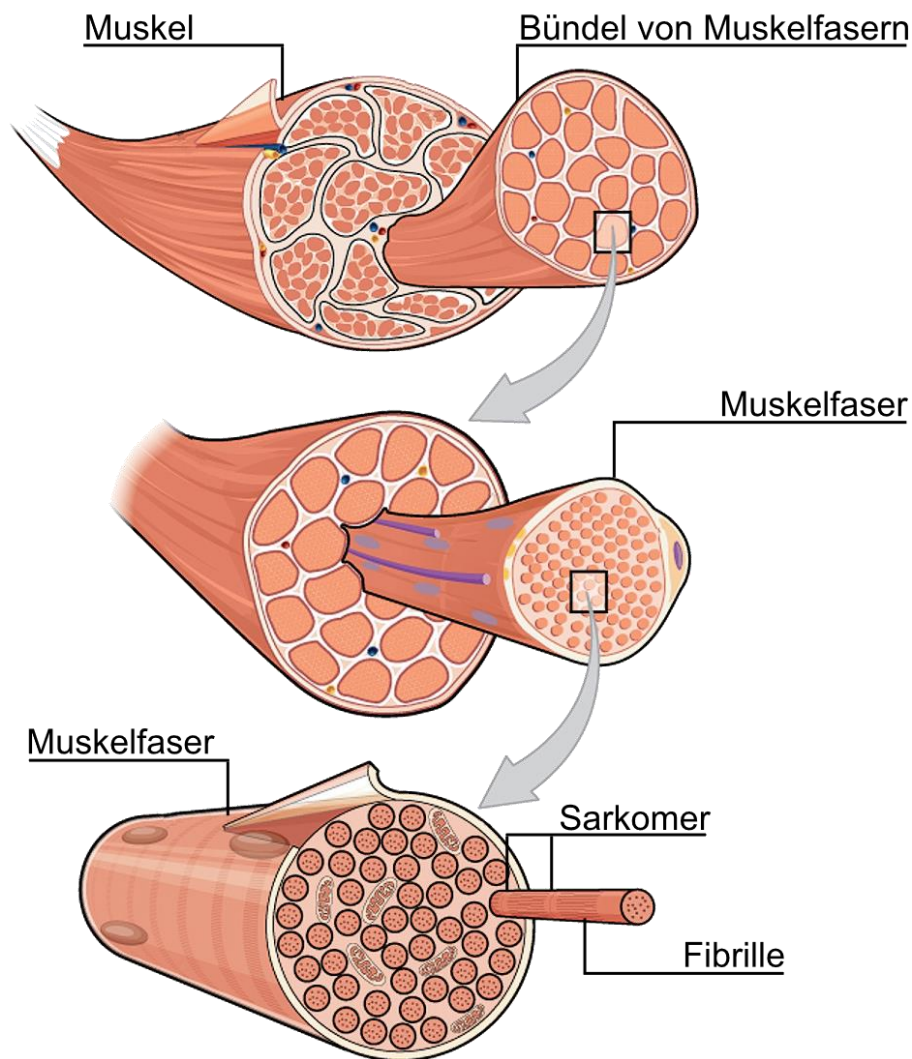


Abb. 2: Aufbau eines Skelettmuskels (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <http://www.leifiphysik.de/mechanik/kraft-und-masse-ortsfaktor/ausblick/muskelkraft>)

Bei genauer Betrachtung lässt sich eine Myofibrille wiederum in kleinere Bausteine zerlegen, nämlich in Sarkomere. Sarkomere sind ca.  $2,5\ \mu\text{m}$  lange Eiweißzylinder, die durch sogenannte Z-Scheiben (Zwischenscheiben) zur langen Kette der Myofibrille verbunden sind. Die einzelnen Sarkomere bestehen aus komplex aufgebauten Eiweißmolekülen, den sogenannten *dünnen Eiweißfäden* (Aktinfilamente) und den *dicken Eiweißfäden* (Myosinfilamente), auf welchen der kontraktile Apparat der Muskelfaser beruht (Markworth, 2009, S. 28-31). Der Aufbau eines solchen Sarkomers wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

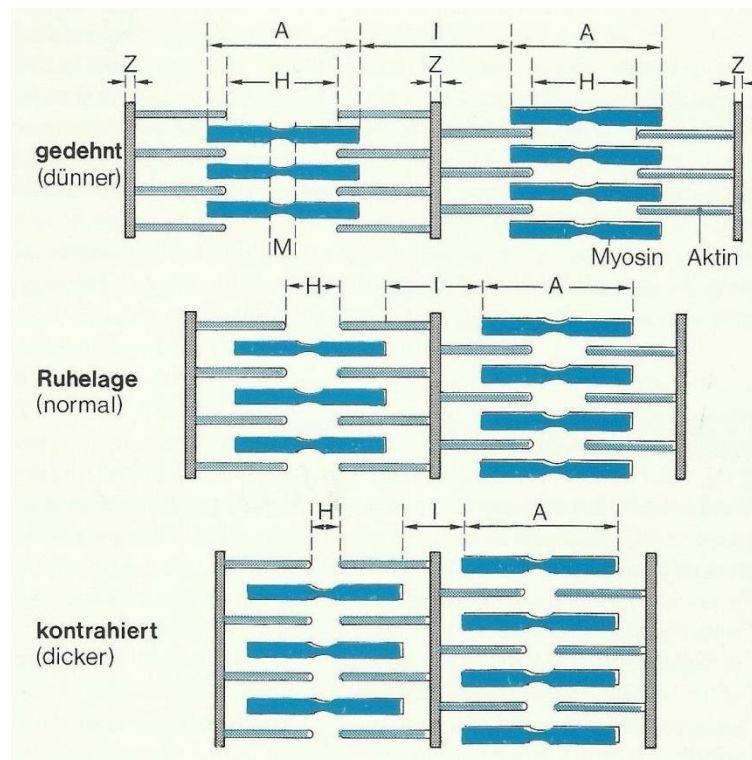


Abb. 3: Aufbau eines Sarkomers (Markworth, 2009, S. 32)

Im Zentrum des zylinderförmigen Sarkomers liegen die Myosinfilamente, die Aktinfilamente sind an den Z-Scheiben angeheftet und strahlen von beiden Seiten in die Mitte des Sarkomers ein, ohne jedoch einander oder die Myosinfilamente direkt zu berühren. Sechs dünne Aktinfilamente sind regelmäßig hexagonal um ein dickes Myosinfilament angeordnet. Dieses Muster sorgt wahrscheinlich für den Aufbau mechanischer Muskelspannung in der Zelle. Bei einer Muskelkontraktion kommt es dann, durch das Hineinziehen der dünnen Filamente, zu einer Verkürzung des Sarkomerzylinders, ohne dass dabei die Aktin- bzw. Myosinfilamente ihre Länge verändern. Bei der Verringerung der Zylinderlänge wird ein Sarkomer gleichzeitig dicker, da das Volumen des Zylinders erhalten bleiben muss (Huppelsberg & Walter, 2009, S. 247-248; Markworth, 2009, S. 28-31).

## 2.2 DOMS (Delayed onset muscle soreness)

DOMS oder „Muskelkater“ kann als Konsequenz sportlicher Bewegung unter verschiedenen Bedingungen auftreten. Ein Auftreten von DOMS ist besonders bei neuen oder ungewohnten Bewegungen, bei exzentrischen Muskelkontraktionen sowie bei besonders starker Belastung zu beobachten. Unmittelbar nach der physischen Belastung

verursacht DOMS in der Regel keine Schmerzen. Die ersten Symptome sind erst innerhalb von 8 bis 24 Stunden zu erwarten und äußern sich vorwiegend in Schmerzen, aber auch Schwellung, Steifheit, Druckdolenz und Kraftverlust (Cheung, Hume & Maxwell, 2003; Veqar, 2013). Der Höhepunkt der Schmerzen tritt nach 24 bis 48 Stunden ein (Veqar, 2013). Mit einer vollkommenen Wiederherstellung ist in der Regel nach fünf Tagen zu rechnen, kann allerdings auch bis zu 14 Tage dauern (Cheung et al., 2003; Veqar, 2013).

Der aktuelle Wissenstand sieht den auslösenden Mechanismus zur Entstehung von DOMS in Mikroverletzungen der Sarkomere durch Überdehnung bei hohen, exzentrischen Kräften bzw. Dehnungsgeschwindigkeiten. Direkt nach der exzentrischen Belastung wird vorläufig kein Schmerz wahrgenommen, da die Nervenenden extrazellulär im Bindegewebe eingelagert sind. Bei den Mikroverletzungen handelt es sich um Störungen der Sarkomerstruktur, nämlich kleinen Zerreißen von Z-Scheiben und A-Banden. Eine Reduktion der Muskelkraft kann durch den Verlust der Überlappung der Aktin- und Myosinfilamente nach hoher physischer Belastung erklärt werden (Böning, 2002).

Der Mechanismus für das Auftreten von DOMS ist allerdings nicht nur durch mechanische Muskelschädigung in Verbindung mit exzentrischen Kontraktionen bekannt. Auch eine metabolische Muskelschädigung kann die Entstehung von DOMS bewirken. Bei großen Ausdauerbelastungen, wie z.B. einem Marathonlauf, kann es durch Restriktionen in der Energieversorgung zu mindestens ähnlich gravierenden Schäden kommen (Böning, 2002).

Neben dem oben genannten *ersten Schaden* als Auslöser von DOMS ist auch eine sogenannte *Sekundärreaktion* möglich. Die Sekundärreaktion, die sich durch eine mechanische oder metabolische Schädigung der Muskulatur einstellt, ist eine Entzündungsreaktion bzw. Autolyse. Die dadurch ausgelösten Symptome von DOMS treten 8 bis 24 Stunden nach der oben beschriebenen Mikroverletzung auf (Böning, 2002). Durch die akute Entzündungsreaktion werden neutrophile Granulocyten und Monocyten freigesetzt, welche das durch den *ersten Schaden* zerstörte Gewebe phagocytieren (Aktories, Förstemann, Hofmann & Starke, 2009).

### **2.2.1 Kryotherapie als Prävention und Regeneration**

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Studien zur Kryotherapie als Präventions- und Regenerationsmethode von DOMS veröffentlicht. Farnleitner (2014) fasste in ihrer Master Thesis „Kryotherapie nach physischer Belastung, zur Prävention und Behandlung von DOMS unter Berücksichtigung der Intervention und Dosierung von Kaltwasser“ die



Ergebnisse von 20 aktuellen Studien mit insgesamt 377 Studienteilnehmern zum Thema CWI und dessen Wirkung auf DOMS zusammen. Auch in der hier vorliegenden Studie ist dieser Effekt von großem Interesse.

Mit dem derzeitigen Stand der Wissenschaft konnte noch keine exakte Erklärung für die Wirkung und die gezielte Anwendung von CWI zur Prävention und Behandlung von DOMS gefunden werden. Es gelten nach Ihsan et al. (2016) und Bleakley et al. (2012) folgende Erklärungsansätze bei der Behandlung von DOMS als Sekundärreaktion (Entzündungsreaktion bzw. Autolyse):

- Vasokonstriktion, eine Verringerung des Durchmessers von Blutgefäßen, wird durch Kälte ausgelöst und führt zu einem verringerten Blutfluss in der Muskulatur. Gleichzeitig kommt es zu einer Reduktion des intramuskulären Stoffwechsels und somit einer Reduktion entzündlicher Vorgänge.
- Ein widersprüchlicher Ansatz ist die bessere Sauerstoffversorgung, welche durch Vasokonstriktion ausgelöst werden soll. Durch die Verlagerung der Durchblutung von der Peripherie zum Zentrum werden u.a. Stoffwechselprodukte vom Muskel abtransportiert, was sich positiv auf die Regeneration auswirkt. Gleichzeitig wird allerdings der Blutfluss im Muskel reduziert und die Versorgung mit Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Nährstoffen eingeschränkt, was sich wiederum nachteilig auf die Erholung auswirkt.
- Durch den Einsatz von Kälte wird die Übertragungsgeschwindigkeit der Nervenimpulse reduziert und die Schmerzempfindung somit herabgesetzt.

Jüngsten Untersuchungen zufolge (Bleakley et al., 2012; Farnleitner, 2014) scheint der positive Effekt von CWI auf DOMS nach intensiver physischer Belastung gegeben zu sein. Durch den Einsatz von Kryotherapie zeigt sich eine signifikante Schmerzlinderung von DOMS. Als wirkungsvollster Parameter erweist sich die mit Kälte implizierte Körperoberfläche. Für einen möglichst großen Effekt, wird ein ideales Zusammenspiel der Parameter eingetauchte Körperoberfläche, Temperatur des Kaltwassers sowie Dauer der Intervention empfohlen und führt multiplikativ betrachtet zu einer signifikanten Schmerzlinderung nach 24, 48 und 72 Stunden gegenüber einer passiven Regeneration (Farnleitner, 2014).

### **2.2.2 Quantifizierung von DOMS**

Die Quantifizierung von DOMS erfolgt anhand der visual analogue scale (VAS). Die Skala besteht aus einer 100 mm langen Gerade, die an einem Ende mit „keine Schmerzen“, am

anderen Ende mit „stärkste vorstellbare Schmerzen“ gekennzeichnet ist (Al-Nakhli, Petrofsky, Laymon & Berk, 2012). Die Probanden werden aufgefordert, zu vorgegebenen Zeitpunkten den Grad der Muskelschmerzen durch einen senkrechten Strich anzugeben. Der Abstand dieser Kennzeichnung zum Skalenanfang wird in Millimeter gemessen und kann daher gut verglichen werden.



*Abb. 4: visual analogue scale (VAS)*

### **2.2.2.1 Vor- und Nachteile der VAS**

Die meist verbreiteten Methoden um DOMS zu messen sind unidimensionale Messmethoden, zu welchen auch die VAS zählt. Einen etwas differenzierteren Ansatz leisten die sogenannten multidimensionalen Messmethoden, die neben der reinen Quantifizierung des Schmerzes sensorische, affektive und evaluative Aspekte berücksichtigen. Anhand der Studie von Cleather und Guthrie (2007) werden diese beiden Methoden DOMS messbar zu machen, miteinander verglichen. Konkret wurde in der Studie die multidimensionale Messmethode McGill Pain Questionnaire (MPQ) herangezogen und mit der unidimensionalen VAS verglichen. Vorzüge der VAS gegenüber des MPQ, sind der geringere Aufwand und die einfache Vorbereitung und Durchführung. Außerdem ist sie eine in Studien etablierte Schmerzskala und kann gut mit anderen Messungen verglichen werden. Die Stärke des MPQ liegt hingegen in der detaillierten Beschreibung des Schmerzes. Beide Skalen korrelieren nach dem Spearman Korrelationskoeffizienten miteinander und eignen sich gleichermaßen, um signifikante Unterschiede zwischen dem Schmerzempfinden an aufeinanderfolgenden Tagen zu ermitteln (Cleather & Guthrie, 2007).

Schließlich wurde die Quantifizierung von DOMS mittels VAS aufgrund der überwiegenden Vorteile für diese Studie gewählt.

### **2.2.2.2 Wahl der Zeitpunkte**

Der Höhepunkt von DOMS liegt in der Regel zwischen 24 und 48 Stunden und kann bis zu 72 Stunden anhalten (Veqar, 2013). Die Probanden wurden daher gebeten, den Grad

ihres Muskelschmerzes zu den Zeitpunkten 24h, 48h, 72h und 96h nach Abbruch des letzten Berglaufs zu bewerten. Die Baseline beschreibt den erholten Ausgangszustand vor den Belastungsreizen und wurde mit den vier weiteren Zeitpunkten für die Auswertung herangezogen.

## **2.3 Herzratenvariabilität (HRV)**

### **2.3.1 Das autonome Nervensystem**

Das autonome Nervensystem (ANS) muss ständig auf innere und äußere Einflüsse reagieren. Die zentrale Funktion liegt in der Aufrechterhaltung der Homöostase durch die Innervierung der inneren Organe und somit auch der Regelung der Herzfrequenz (HF). Grundsätzlich kann das ANS in zwei Komponenten – Sympathikus und Parasympathikus – eingeteilt werden, die in der Regel durchwegs unterschiedliche Netzwerke verwenden und eine gegensätzliche Wirkung auf die Organe vermitteln (Huppelsberg & Walter, 2009, S. 265). Im Allgemeinen hat der Sympathikus eine ergotrope Wirkung, d.h. er dient der Energiemobilisierung und allgemeinen Aktivierung zur Erhöhung der Leistungsbereitschaft. Der Parasympathikus hingegen wirkt trophotrop, d.h. er fördert regenerierende Prozesse und den Aufbau von Energiereserven (Huppelsberg & Walter, 2009, S. 265; Markworth, 2009, S. 120).

### **2.3.2 Geschichte der HRV**

Die Relevanz der HRV für zahlreiche Disziplinen der Medizin, Psychiatrie und den Sport zeigt sich in den stark ansteigenden Publikationen der letzten Jahre. 2015 sind allein in pubmed, einer wissenschaftlichen Datenbank, 18 000 Studien und Metaanalysen zum Thema zu finden gewesen (Eller-Berndl, 2015, S. 12).

Bereits im dritten Jahrhundert erkannte der chinesische Arzt Wang Shu-Ho mit der Feststellung „Wenn das Herz so regelmäßig wie das Klopfen eines Spechtes oder das Tröpfeln des Regens auf dem Dach wird, wird der Patient innerhalb von vier Tagen sterben“ (Eller-Berndl, 2015, S. 10) einen Zusammenhang zwischen der Regelmäßigkeit der HF und der Mortalität. Ab dem 17. bis ins 19. Jahrhundert wurden immer wieder fortschrittliche Erkenntnisse zur HRV gewonnen und die Abhängigkeit des Herzschlages von der Atmung beobachtet. In einer Publikation von John Newport Langley 1921 wurde erstmals der Begriff des autonomen Nervensystems (ANS; auch vegetatives Nervensystem) mit seinen – u.a. für die HRV relevanten – Teilsystemen Parasympathikus und Sympathikus definiert. Er schuf damit eine Grundlage für die Forschung der weiteren

Jahrzehnte (Eller-Berndl, 2015, S. 10-12). Eine klinische Relevanz der HRV wurde erstmals 1965 durch Hon und Lee festgehalten, mit der Erkenntnis, dass bei fetalem Stress eine Änderung der RR-Intervalle auftritt, ohne eine vorhergehende Veränderung der Herzrate an sich (Task Force, 1996).

### 2.3.3 Definition der Herzratenvariabilität

Unter dem Begriff HRV werden einerseits die Schwankungen der HF an sich, andererseits die Variabilität der Abstände zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Herzschlägen verstanden. Für Letzteres ist in der Literatur außerdem der Begriff RR-Variabilität bekannt (Task Force, 1996). Die zyklische Aktivität des Herzens ist für den periodischen Prozess des Blutkreislaufes verantwortlich. Die Maßeinheit für diese Aktivität ist ein Herzzyklus. Ein RR-Intervall entspricht der Länge eines Herzzyklus. Bei der Analyse eines EKG-Streifens wirkt dieser auf den ersten Blick „rhythmisch“, was jedoch einem völlig unphysiologischen Zustand entsprechen würde und klinisch bedenkliche Auswirkungen hätte. Bei genauer Betrachtung der Herzzyklen wird deutlich, dass der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden R-Zacken mit jedem Schlag variiert (Eller-Berndl, 2015, S. 14-25).

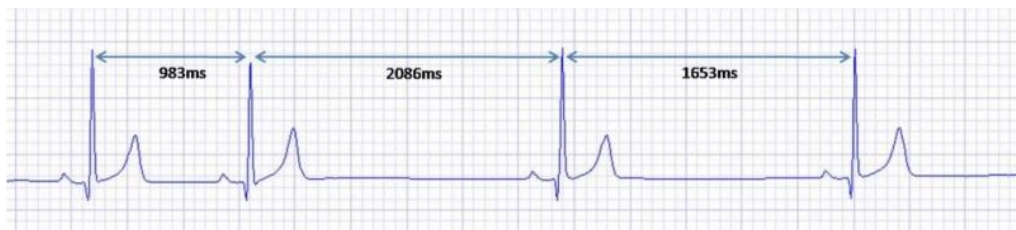


Abb. 5: Sinusrhythmus (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <http://www.hrv.cc/index.php/hrv-messung>)

In dieser Studie wird zur Analyse der HRV die RR-Variabilität der Probanden in der Nacht genauer unter die Lupe genommen. Um verlässliche Ergebnisse der HRV-Messung zu erhalten, ist eine hohe Abtastrate notwendig. Von der österreichischen Gesellschaft für Holter-Medizin wird daher eine Abtastrate von mind. 1 000 Hertz (Hz) dringend empfohlen (Eller-Berndl, 2015, S. 21).

Eine komplexe Variabilität zeichnet sich u.a. durch Merkmale wie eine gesunde Balance zwischen Ordnung und völliger Zufälligkeit sowie zeitlicher Irreversibilität aus. Bei Erkrankungen oder im Alter kommt es zu einer Verringerung der Komplexität. Außerdem

kann sich vorhergehende physische Aktivität negativ auf eine HRV-Messung auswirken (Task Force, 1996). Dieser Effekt wird in Kombination mit der gezielten Anwendung von Kälte in der vorliegenden Studie untersucht und diskutiert.

Zahlreichen Studien demonstrieren, dass die HRV Kurzzeitwerte nach vorübergehenden Interventionen wie z.B. geringe bis mäßige körperliche Belastung, transiente Koronarokklusion oder auch psychische oder emotionale Erregung rasch zur Baseline zurückkehren. Stärkere Stimuli, wie maximale körperliche Belastung oder die Einnahme von Medikamenten mit längerer Wirkungsdauer bedingen eine mittel- bzw. längerfristige Veränderung der HRV im Vergleich zu den Kontrollwerten. Über Langzeitmessungen von 24 Stunden finden sich deutlich weniger Daten. Dennoch scheinen sich Langzeitmessungen für Interventionstherapien zu eignen, da sie frei von Placebos sind und dadurch relativ stabil und vergleichbar sind (Task Force, 1996).

#### 2.3.4 HRV-Rekorder medilog AR12 plus

Der „medilog AR12 plus“, ein Langzeit EKG-Rekorder, kommt bei dieser Studie zum Einsatz. Er erreicht eine Abtastrate von bis zu 8 000 Hz (8 000-mal/sek). Grundsätzlich werden bei EKG-Rekordern zwei Systeme unterschieden. Die *Beat-to-Beat-Messung* bringt einige Ungenauigkeiten mit sich, da das Signal sehr breit ist und von Schlag zu Schlag in Höhe und Länge stark variieren kann.



Abb. 6: *Beat-to-Beat-Messung* (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <http://www.hrv.cc/>)

Besonders bei höherer HF verschwindet häufig die HRV bei 60% der maximalen HF, da diese einen Herzschlag von einer Störung nicht mehr unterscheiden können (Eller-Berndl, 2015, S. 21). Beim „medilog AR12 plus“ handelt es sich um die *Peak-to-Peak-Methode* (Schillers Medilog Holter System (2017)). Aufgrund der hohen Abtastrate wird durch die stark ausgeprägte R-Zacke ein optimaler Trigger-Punkt zur HRV Diagnostik gefunden. Unabhängig von der HF kann das System zwischen reellen R-Zacken und Artefakten verlässlich unterscheiden. Es gilt: je höher die Abtastrate, desto exakter kann die R-Zacke bestimmt werden (Eller-Berndl, 2015, S. 22).

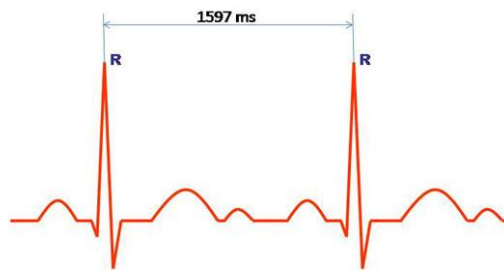


Abb. 7: Peak-to-Peak-Messung (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <http://www.hrv.cc/>)

### 2.3.5 Maßzahlen

HRV-Aufzeichnungen liefern große Mengen an Datenmaterial, welches aufgrund der komplexen Bedeutung Anlass zur Fehlinterpretation bietet. Die Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) hat im European Heart Journal Standards und Richtlinien hinsichtlich der Messungen, physiologischen Interpretation und klinischen Anwendung veröffentlicht. Die Parameter der Time Domain sind im Vergleich zur Frequency Domain wesentlich unempfindlicher und werden bevorzugt für Langzeitaufzeichnungen herangezogen (Eller-Berndl, 2015, S. 27; Task Force, 1996). Erstere werden nochmals in statistische und geometrische Methoden unterteilt. Bei den statistischen Methoden der Time Domain werden über einen bestimmten Zeitraum Intervalle der Herztätigkeit gemessen, sukzessive RR-Intervalle und deren Differenzen erfasst und daraus vorwiegend Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt (Task Force, 1996). Unter Langzeitaufnahmen werden von der Task Force (1996) Aufzeichnungen von 24 Stunden empfohlen, für Kurzaufzeichnungen fünf Minuten. In der hier vorliegenden Studie wurden aufgrund der eben genannten Empfehlungen zeitbezogene Analysemethoden herangezogen. Jene erlauben es, sowohl die HF, als auch die RR-Intervalle zu jedem beliebigen Messzeitpunkt zu bestimmen. Folgende Maßzahlen sind in zahlreichen Publikationen weitreichend etabliert und werden laut Task Force (1996) zur Auswertung einer Langzeitmessung empfohlen (Eller-Berndl, 2015, S. 29):

- SDNN: Standardabweichung aller RR-Intervalle; Einheit: ms
- SDNN-i: Mittelwert der Standardabweichungen aller RR-Intervalle für alle Zeitfenster (5-Minuten-Abschnitte) der gesamten Aufzeichnung; Einheit: ms
- SDANN: Standardabweichung des Mittelwerts der RR-Intervalle für alle Zeitfenster (5-Minuten-Abschnitte) der gesamten Aufzeichnung

- rMSSD: Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe der quadrierten Differenzen aller sukzessiven RR-Intervalle; Einheit: ms
- pNN50: Anteil der Intervalle mit mindestens 50ms Abweichungen vom vorherigen Intervall, Einheit: %
- HRV triangular index: Quotient aus der Anzahl der RR-Intervalle zum Maximum der Dichteverteilung (Integral der Dichteverteilung)

Nach allgemeinen Empfehlungen und Richtlinien (Eller-Berndl, 2015, S. 29; Task Force, 1996) und anhand bisher durchgeführter Studien und Reviews zu einer ähnlichen Fragestellung (Al Haddad et al., 2012; Al Haddad, Laursen, Chollet, Ahmaidi & Buchheit, 2011; Almeida et al., 2016; Boulosa, Abreu, Tuimil & Leicht, 2012; Dong, 2016; Goldberger et al., 2006; Penttilä et al., 2001; Stanley et al., 2013; Vaz, Picanco & Del Vecchio, 2014) werden zur Auswertung dieser Studie die Parameter SDNN und rMSSD herangezogen und im Folgenden genauer beschrieben. Auch Sammito und Bockelmann, 2015 empfehlen folgendes: „Um die Gesamtvariabilität der Herzschlagfolge zu beurteilen bzw. um die parasympathische Aktivität zu betrachten, sollten daher die Parameter SDNN (Gesamtvariabilität) bzw. rMSSD (parasympathische Aktivität) für die Auswertung herangezogen werden“.

### **2.3.5.1 SDNN**

Die SDNN (standard deviation of normal to normal R-R intervals) ist die Standardabweichung aller RR-Intervalle. Der Parameter stellt ein Maß für die Gesamtvariabilität des Herzens dar und reagiert sensitiv auf Veränderungen der mittleren HF. Bei der Messung der SDNN ist es wesentlich zu beachten, dass der Wert von der Dauer der Messung abhängt. Messungen dürfen also nur miteinander verglichen werden, wenn dieselbe Messdauer eingehalten wurde. Außerdem steigt die SDNN proportional zum Aktivitätslevel. Es dürfen daher nur Messungen miteinander verglichen werden, bei welchen mit einem vergleichbaren Aktivitätslevel zu rechnen ist (Task Force, 1996; Eller-Berndl, 2015, S. 29).

Die Gesamtvariabilität ist abhängig von Alter, Geschlecht und Trainingszustand und wird bevorzugt als Prognoseparameter für Erkrankungen herangezogen (Eller-Berndl, 2015, S. 30). Die folgende Tabelle zeigt die Gesamtvariabilität, gemessen anhand der SDNN, die im Rahmen einer Studie von 296 gesunden Personen mit einer hohen Geschlechter- und Altersinhomogenität festgestellt wurde:

Tab. 1: SDNN gesunder Personen in 9 Dekaden

Alter (Jahre)	SDNN [ms]
10-19	176±38
20-29	153±44
30-39	143±32
40-49	132±30
50-59	121±27
60-69	121±32
70-79	124±22
80-99	106±23

Quelle: Eller-Berndl, 2015, S. 30

### 2.3.5.2 rMSSD

Die Parameter rMSSD und pNN50 korrelieren stark miteinander. Dennoch wird in Studien aufgrund der besseren statistischen Eigenschaften die Quadratwurzel des quadratischen Mittelwerts der Summe aller Differenzen zwischen aufeinanderfolgenden RR-Intervallen dem pNN50 vorgezogen (Task Force, 1996). Einigen Parametern des Zeitbereichs, im Besonderen der rMSSD, wird die Eigenschaft zugeschrieben, ein stabiles Maß für parasympathische Aktivität zu sein (Dong, 2016; Eller-Berndl, 2015, S. 31; Pumpila, Howorka, Groves, Chester & Nolan, 2002; Sammito & Bockelmann, 2015).

## 2.3.6 Einflussfaktoren der individuellen HRV

### 2.3.6.1 Sportliche Aktivität

In Beobachtungen der autonomen Herzaktivität lassen sich sowohl Langzeitadaptionen durch gezieltes Training (Eller-Berndl, 2015, S. 116), sowie der akute Einfluss vorhergehender sportlicher Betätigung auf die Regeneration feststellen. In der Regeneration kann es zu kurz-, mittel- und längerfristigen Veränderungen der HRV kommen.



Bei körperlicher Aktivität kommt es zunächst zu einer Steigerung des Sympathikus und zur Reduzierung der HRV. Kurzfristige Veränderungen der parasympathischen Herzaktivität nach sportlicher Belastung scheinen auf die Wiederherstellung der Homöostase hinzuweisen (Hautala et al., 2001). Außerdem beobachteten Stanley et al. (2013) und Hautala et al. (2009), dass Veränderungen der parasympathischen Herzaktivität als Index für eine globale Regeneration von vorhergehender Belastung zu verstehen sind. In Studien wurde beispielweise ein Sinken der HRV in den ersten Stunden nach der Belastung beobachtet (Al Haddad, Laursen, Ahmaidi & Buchheit, 2009; Stanley et al., 2012). In den folgenden Tagen kehrt die Variabilität wieder in den Normalbereich zurück (James, Barnes, Lopes & Wood, 2002; Mourot, Bouhaddi, Tordi, Rouillon & Regnard, 2004) bzw. steigt sogar auf ein höheres Level an (Hautala et al., 2001).

Regelmäßige sportliche Betätigung führt längerfristig zu einer Steigerung der parasympathischen Aktivität (Bernardi & Piepoli, 2001; Hottenrott, Hoos & Esperer, 2006).

Das Ausmaß der genannten Auswirkungen ist von vielfältigen Faktoren wie dem Belastungsreiz (Dauer, Intensität, Blutlaktatkonzentration) (Buchheit, Laursen & Ahmaidi, 2007; Myllymäki et al., 2012; Seiler et al., 2007), Alter (Sandercock, Bromley & Brodie, 2005) und Trainingszustand (Buchheit & Gindre, 2006) abhängig.

### **2.3.6.2 Atmung**

Wie bereits von dem englischen Landpfarrer, Physiologen und Physiker Stephen Hales im 18. Jahrhundert erkannt (Eller-Berndl, 2015, S. 10), spiegelt sich der Einfluss der Atmung auf die HRV in der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) wider. Bei der Einatmung kommt es zu einer Zunahme, bei der Ausatmung zu einer Abnahme der HF (Eller-Berndl, 2015, S. 10, 32). Bei der Inspiration vergrößert sich der venöse Rückstrom, wodurch der kardiale Füllungsdruck erhöht wird und zu einer Erhöhung des Schlagvolumens (SV) führt. Die Expiration hingegen verursacht einen verringerten venösen Rückstrom und somit eine Abnahme des SV. Dieser Einfluss der Atmung verursacht Fluktuationen des Blutdrucks, welcher einen Einfluss auf die HRV mit sich bringt (Eller Berndl, 2015, S. 33).

Der Parameter rMSSD scheint allerdings von der Atmung nicht beeinflusst zu werden (Hill & Siebenbrock, 2009), für eine eindeutige Aussage über die weiteren Parameter reichen die derzeitigen Studienergebnisse (Jennings & Mack, 1984; Kanters, Højgaard, Agner & Holstein-Rathlou, 1997; Schaffer, Hensel, Weigand, Schüttler & Jeleazcov, 2013) nicht aus.

#### **2.3.6.3 Lebensalter und Geschlecht**

Die HRV steigt vorerst bis zum jungen Erwachsenenleben an und fällt danach nicht-linear wieder ab (Shiogai, Stefanovska & McClintock, 2010; Stein, Barzilay, Chaves, Domitrovich & Gottdiener, 2009; Voss, Heitmann, Schroeder, Peters & Perz, 2012; Zhang, 2007). Hinsichtlich des Einflusses des Geschlechts auf die HRV herrschen weiterhin Uneinigkeiten. Es wird einerseits von einer erhöhten parasympathischen Aktivität bei Frauen gegenüber Männern gesprochen (Snieder, van Doornen, Boomsma & Thayer, 2007; Sookan & McKune, 2012; Tsuji et al., 1996), andere Studien (Huang et al., 2012; Felber et al., 2006) berichten jedoch von einer erhöhten sympathischen Grundaktivität bei Frauen.

#### **2.3.6.4 Alkohol und Rauchen**

Beim Konsum von Alkohol wurde eine kurzfristige Reduzierung der HRV beobachtet (Koskinen, Virolainen & Kupari, 1994; Weise, Krell & Brinkhoff, 1986). Längerfristiger Alkoholmissbrauch kann allerdings auch zu einer chronischen Reduktion der HRV führen (Monforte et al., 1995; Hemingway et al., 2005).

Bei nikotinabhängigen Personen wurde tagsüber eine geringere parasympathische Aktivität und eine erhöhte HF beobachtet. Bei normotensiven (mit normalem Blutdruck) jungen Männern ist bereits nach einem einwöchigen Rauchstopp eine Abnahme der Anzahl der Herzschläge in 24 Stunden, sowie eine Erhöhung des pNN50, welcher wie die rMSSD ein Zeichen für parasympathische Aktivität ist, zu erkennen (Eller-Berndl, 2015, S. 162).

#### **2.3.6.5 Weitere Einflussfaktoren**

Darüber hinaus können Medikamente mit Einfluss auf das autonome Nervensystem (Eller-Berndl, 2015, S. 156-159) bzw. Herzkreislauf- und Stoffwechselerkrankungen (Eller-Berndl, 2015, S. 178-230) kurz- oder langfristige Auswirkungen auf die HRV haben. Außerdem ist eine Reduzierung der HRV sowohl bei Stress und mentaler Anspannung (Chandola, Heraclides & Kumari, 2010; Clays et al., 2011) sowie bei psychiatrischen Erkrankungen (Friedman & Thayer, 1998) bekannt. Der aktuelle Forschungsstand über den Einfluss von Kälte auf die HRV ist im Abschnitt 1.2.2 genauer ausgeführt worden.

### **2.3.7 Wahl des Messzeitraums**

Um möglichst vergleichbare und stabile HRV-Werte zu erhalten, fiel die Wahl des Messzeitpunkts auf die Nacht. Boullosa et al. (2012) wählten für die HRV-Messung in ihrer Studie einen Zeitraum zwischen 00:00 und 05:00 Uhr nachts. Wie oben angeführt kann eine Vielzahl an Störfaktoren zu einem verzerrten HRV-Bild führen und die Aufzeichnungen schwer interpretierbar oder unbrauchbar machen. Gewählt wurde eine Zeitspanne, in welcher von den Probanden zu erwarten war, dass sie sich in schlafendem Zustand befanden.

Der Vorteil der gewählten Methode ist, dass sich die Probanden in einem gewohnten Zustand befanden und die Aufzeichnung während der Nacht frei von Placebos ist. Eine Überprüfung des tatsächlichen Schlafzustands kann aufgrund des ambulanten Studiendesigns allerdings nur vermutet und nicht garantiert werden.

## **2.4 Ankle Hop**

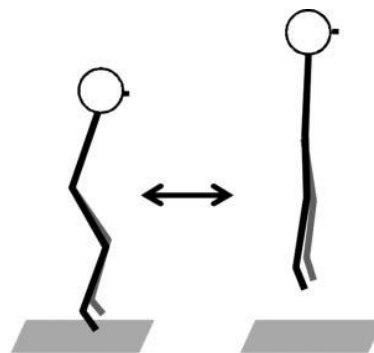
Der Ankle Hop ist eine Sprungform, die der Plyometrie zuzuordnen ist. In der Rehabilitation werden häufig plyometrische Übungen mit steigender Intensität angewendet, um Patientinnen und Patienten einen effektiven Weg zurück in einen sportlichen Alltag zu ermöglichen (Chmielewski, Myer, Kauffman & Tillman, 2006; Sugisaki, Okada & Kanehisa, 2013). Plyometrische Übungen, welche die unteren Extremitäten betreffen, werden ebenso in Trainingseinheiten von Athletinnen und Athleten integriert, um Schnell- und Explosivkraft zu entwickeln und zu verbessern. Jene Übungen, sowie der Ankle Hop, trainieren den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, in dem eine schnelle exzentrische Muskelkontraktion direkt gefolgt von einer kraftvollen konzentrischen Kontraktion desselben Muskels oder derselben Muskelgruppe erfolgt. In der Muskulatur wird zunächst eine Vorspannung und somit elastische Energie erzeugt. An das Auflösen dieser Vorspannung folgt direkt eine konzentrische Kontraktion, die durch die Kopplung beschleunigt wird und wesentlich schneller erfolgen kann, als eine konzentrische Kontraktion allein (Chu, 1992).

Der Großteil der Studien zu plyometrischen Übungen beschäftigt sich mit biomechanischen Messungen, welche Unterschiede verschiedener Übungen beispielsweise aufgrund ihrer Kraftentwicklung (Jensen & Ebben, 2007) oder Gelenkwinkel (Sugisaki et al., 2013) im Verlauf der Zeit, Bodenreaktionskraft (Wallace et al., 2010) oder Stabilisationszeit (Ebben, Van der Zanden, Wurm & Petushek, 2010; Jensen & Ebben, 2007) ermitteln und analysieren. Bisher stehen keine allgemeinen

Übungsempfehlungen oder Sprungformen zur Überprüfung des Erholungszustands nach spezifischen Belastungsreizen zur Verfügung. Darüber hinaus sind keine Studien bekannt, die plyometrische Übungen im Kontext einer ausdauernden Belastung und anschließender Kryotherapie als Parameter herangezogen haben.

Folgende Überlegungen wurden daher zur hier vorliegenden Thematik angestellt:

Im Rahmen dieser Studie wurde der Ankle Hop als Parameter der Schnellkraft gewählt, um den Erholungszustand auf muskulärer Ebene anhand des Schnellkraftindex (SKI) zu verschiedenen Zeitpunkten zu messen und miteinander zu vergleichen. Der Ankle Hop ist wie folgt durchzuführen: Die Ausgangsposition ist ein schulterbreiter aufrechter Stand, die Hände sind in die Hüfte gestützt. Zu Beginn der Bewegung erfolgt eine leichte Beugung der Hüft-, Knie- und Sprunggelenke. Die primäre Sprungkraft erfolgt danach aus den Sprunggelenken. Knie- und Hüftwinkel sollten möglichst unverändert bleiben. Der jeweils folgende Sprung soll direkt nach der Landung erfolgen (Donoghue, Shimojo & Takagi, 2011; Potach & Chu, 2008).



Two-foot ankle hop

Abb. 8: Ankle Hop (Sugisaki et al., 2013)

Im Vergleich mit dem Counter Movement Jump (CMJ), setzt sich der Ankle Hop für diese Studie durch. Sein Vorteil besteht v.a. darin, dass innerhalb eines Zeitraums von 10 Sekunden der Mittelwert der besten fünf Sprünge herangezogen wird. Durch die höhere Intensität pro Einzelsprung hätte der CMJ pro Messzeitpunkt lediglich in geringerem Ausmaß wiederholt werden können. Aus diesem Grund ist beim Ankle Hop mit stabileren Resultaten gegenüber des CMJ zu rechnen. Außerdem ist die auszuführende Bewegung dem Kollektiv grundsätzlich vertraut und wird zusätzlich bereits in der Voruntersuchung getestet.

### **3 Empirischer Teil**

In dieser Studie wurde überprüft, ob der gezielte Einsatz von Kryotherapie in Form einer Kältehose einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit und Regeneration nach einer Ausdauerbelastung zeigt. Zwölf männliche ausdauertrainierte Probanden absolvieren einen Test- und einen Kontrolllauf an je zwei Tagen, welche sich bis auf die Regenerationsmethode nicht unterscheiden. Die Belastung wird in Form eines intensiven Ausdauertrainings auf einem Laufbandergometer durchgeführt. In jedem der vier Durchgänge findet eine komplette Ausbelastung der Probanden statt. Die an ein Intervall anschließende Regenerationszeit beträgt jeweils 30 Minuten und erfolgt beim Testlauf mit der Intervention einer Kryokompressionshose, beim Kontrolllauf passiv im Sitzen (Traxler & Zinnburg, 2016).

#### **3.1 Studiendesign**

Um verlässliche Resultate zu erhalten, wird ein Crossover-Setting gewählt. Sechs Studienteilnehmer starten mit dem Testlauf, sechs mit dem Kontrolllauf. Die Entscheidung über die Reihenfolge wird zufällig per Los entschieden. Die Probandenanzahl wird nach einem Vergleich mit ähnlichen Studiendesigns auf 12 festgelegt. Mögliche Ausschlusskriterien sind akute Infektionen, Krankheit oder Verletzungen (Traxler & Zinnburg, 2016).

#### **3.2 Probandenauswahl**

Das Kollektiv der Studienteilnehmer wird aus persönlichen Kontakten rekrutiert. In einem umfassenden Informationsschreiben werden die Probanden über den Ablauf, mögliche Risiken und Begleiterscheinungen sowie über die Rahmenbedingungen, den Zweck und Nutzen der Studie informiert. Die Anmeldung zur Studie erfolgt auf freiwilliger Basis. Ein vorzeitiges Ausscheiden ist ohne Angabe von Gründen jederzeit möglich. Die gesammelten Daten werden ausschließlich zu statistischen Zwecken verwendet und werden vom Studienleiter und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern vertraulich behandelt. Die Verwendung und Veröffentlichung der Daten erfolgt anonymisiert. Folgende Kriterien müssen für eine Teilnahme eingehalten werden und werden ärztlich überprüft (Traxler & Zinnburg, 2016).

### **3.2.1 Einschlusskriterien**

Folgende Kriterien müssen für eine Teilnahme an der Studie erfüllt sein (Traxler & Zinnburg, 2016):

- Männliche Probanden mindestens 19 und maximal 40 Jahre alt
- Regelmäßiges Ausdauertraining von mindestens drei Einheiten pro Woche
- Ausdauertrainingserfahrung von mindestens einem Jahr
- Freigabe anhand einer sportmedizinischen Grunduntersuchung
- Motivation zur Studienteilnahme
- Schriftliche Einwilligungserklärung

### **3.2.2 Ausschlusskriterien**

Folgende Kriterien sorgen für einen Ausschluss aus der Studie (Traxler & Zinnburg, 2016):

- Weibliche Probanden
- Männliche Probanden jünger als 19 und älter als 40 Jahre
- Kein regelmäßiges Ausdauertraining
- Keine Ausdauererfahrung von mindestens einem Jahr
- Für eine Teilnahme relevante Verletzung vor oder während der Studie
- Kardiovaskuläre, pulmonale oder metabolische Erkrankung(en), die intensive körperliche Belastungen untersagen
- Akute Infektion(en) oder Fieber
- Medikamenteneinnahme, die Einfluss auf die gemessenen Parameter haben können
- Bekannte Autoimmunerkrankung(en) bzw. Erkrankung(en) das Immunsystem betreffend

### **3.2.3 Anzahl der tatsächlichen Studienteilnehmer**

Unter Berücksichtigung der genannten Kriterien werden vorerst 14 Probanden in die Studie aufgenommen. Aufgrund von Erkrankung bzw. Verletzung müssen zwei Teilnehmer wieder ausgeschlossen werden. Schließlich kann die gewünschte Anzahl von 12 Probanden die Studie erfolgreich abschließen, wobei die Auswertung der Herzratenvariabilität (HRV) bei zwei Studienteilnehmern nicht berücksichtigt werden darf und daher nur die Parameter von 10 Teilnehmern herangezogen werden können.

Außerdem können aufgrund von sportlichen Belastungen in den Folgetagen des Test- bzw. Kontrolllaufs bei einem Probanden die VAS (visual analogue scale) ab dem Zeitpunkt 48 Stunden sowie bei zwei weiteren Probanden die VAS zum Zeitpunkt 96 Stunden nicht berücksichtigt werden.

In einer sportmedizinischen Voruntersuchung werden die Probanden auf ihre Belastungstauglichkeit und Eignung für die Studienteilnahme überprüft. Die Voruntersuchung wird am ÖISM durchgeführt und beinhaltet eine ärztliche Anamnese und ein Ruhe-EKG sowie eine bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) und eine Spiroergometrie (Traxler & Zinnburg, 2016). Anhand dieser Untersuchungsmethoden können einige wesentliche physische Eigenschaften ermittelt werden, die in der folgenden Tabelle ersichtlich sind.

*Tab. 2: Deskriptive Übersicht der Studienteilnehmer (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016)*

<b>Variable</b>	<b>MW±SD</b>	<b>Range (Min–Max)</b>
Alter (Jahre)	28,0±5,1	16,00
Größe (m)	1,82±0,04	0,14
Gewicht (kg)	78,5±10,1	37,50
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23,8±2,5	9,80
Muskelmasse (kg)	38,6±4,7	17,00
Körperfett (%)	13,3±4,8	17,80
VO <sub>2</sub> max (mlO <sub>2</sub> /min/kg)	50,4±5,9	18,27

Der Ablauf aller Untersuchungen im Rahmen der Studie wird am ÖISM von Juni 2016 bis September 2016 durchgeführt.

### **3.3 Voruntersuchung**

Folgende Untersuchungsmethoden werden für die sportmedizinische Untersuchung herangezogen und im Folgenden genauer beschrieben.

Im Rahmen der Voruntersuchung werden die Probanden u.a. mit der Sprungform „Ankle Hop“ vertraut gemacht, die bei den Test- und Kontrollläufen als Leistungsparameter der Schnellkraft herangezogen wird. Die Gesamtdauer der sportmedizinischen

Voruntersuchung umfasst ca. 90 Minuten. Der „Ankle Hop“ wird im Abschnitt 2.4 genauer ausgeführt.

Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) wird mit dem Gerät BodyComp V 8.5 zum Erfassen grundlegender physischer Eigenschaften der Probanden durchgeführt. Die Messung erfolgt über zwei Elektroden am rechten Hand- und Fußgelenk mit einem Impuls von 50 kHz sinusförmigem Wechselstrom, um den Widerstand des Körpers zu erfassen.

Im Anschluss wird bei allen Probanden eine Spiroergometrie am Laufband der Firma HP Cosmos (Modell Quasar) durchgeführt, um eine erste Einschätzung über die Ausdauerleistungsfähigkeit zu treffen und eine Vergleichbarkeit des Kollektivs für die Studie zu gewährleisten. Gestartet wird bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 8 km/h, die jede Minute um 0,5 km/h erhöht wird. Die Probanden werden am Ergometer bis zur maximalen körperlichen Erschöpfung belastet. Für die Auswertung wird die Herzfrequenz (HF) mit Hilfe der Polar Pulsuhr (Seriennummer: N2965) jede Minute sowie zum Zeitpunkt des Abbruchs manuell dokumentiert. Mit der gemessenen Expirationsluft kann die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) ermittelt werden, die im Mittel bei  $50,4 \pm 5,9$  mlO<sub>2</sub>/min/kg liegt (Traxler & Zinnburg, 2016).

### **3.4 Ablauf des Test- bzw. Kontrolllaufs**

Nach den sportmedizinischen Voruntersuchungen werden mit den Probanden Termine für die Hauptuntersuchungen vereinbart. Test- und Kontrolllauf finden im Abstand von mindestens fünf Tagen statt. Pro Tag kann ein Proband seinen Lauf absolvieren. An einem Untersuchungstag durchlaufen die Probanden jeweils vier Durchgänge einer intensiven Belastung (Berglauf). Jeder Durchgang setzt sich aus einer 10-minütigen Aufwärmphase, einer Belastungsphase und einer anschließenden 30-minütigen Regenerationsphase zusammen. Test- und Kontrolllauf unterscheiden sich lediglich durch die Regenerationsphase. Die Regenerationsphase beim Testlauf erfolgt mit Intervention in Form einer Kryokompressionshose. Beim Kontrolllauf findet eine passive Regeneration, auf einem Stuhl sitzend, statt (Traxler & Zinnburg, 2016). Mögliche Auswirkungen der Intervention auf die Regeneration werden u.a. durch die Parameter der HRV, DOMS und den Ankle Hop untersucht.



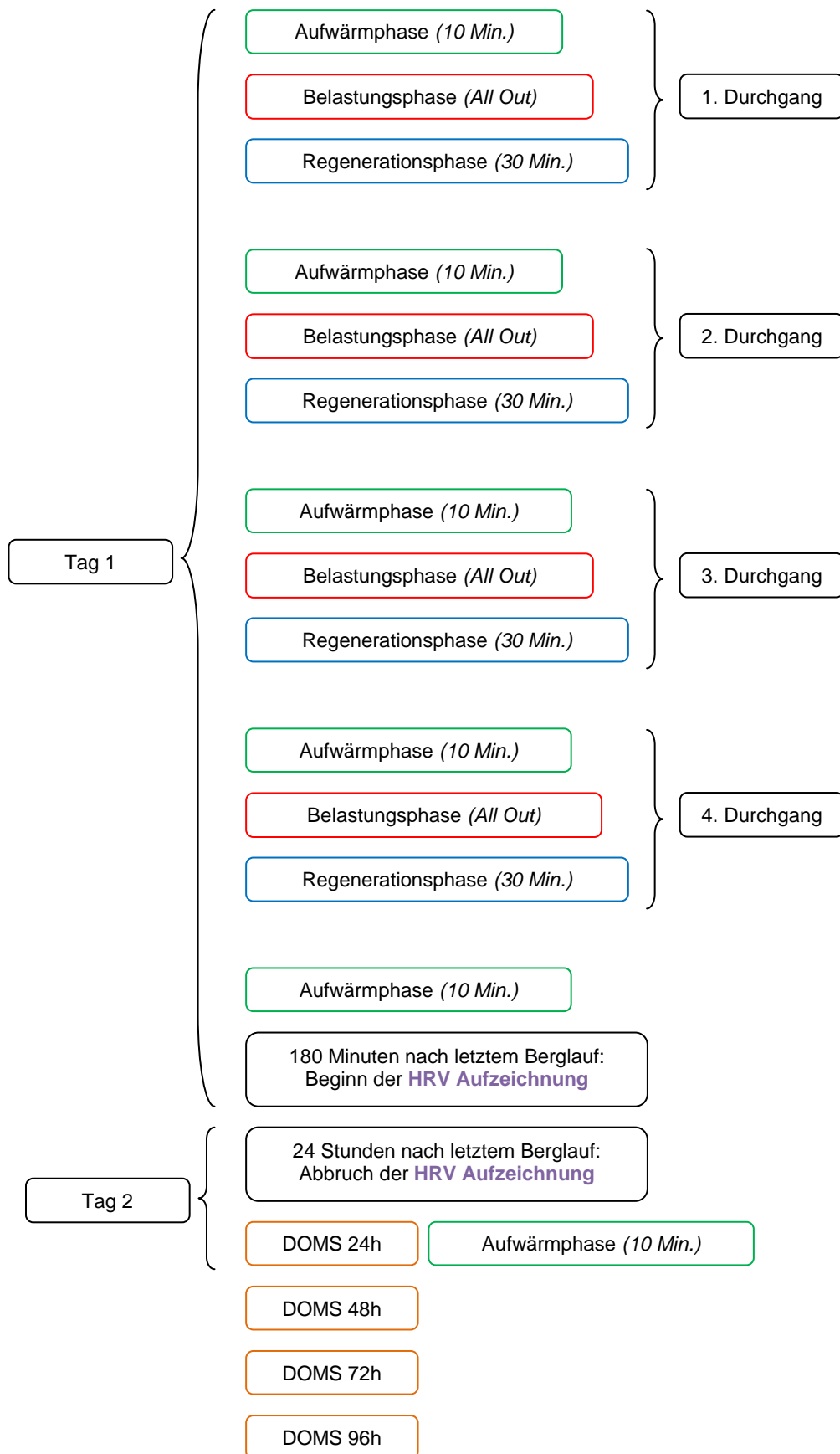


Abb. 9: Zeitlicher Ablauf des Kontroll- bzw. Testlaufes (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016)

Die Hauptuntersuchungen (Test- bzw. Kontrolllauf) starten jeweils mit einer Blutabnahme (t0). Es werden die Parameter CK, GLU, WBC, LYM, GRAN vor der Belastung erfasst. Pro Untersuchungstag erfolgen fünf weitere Blutabnahmen zu den Zeitpunkten

- direkt nach der letzten Belastung (t1),
- 30 Minuten nach der letzten Belastung (t2),
- 60 Minuten nach der letzten Belastung (t3),
- 180 Minuten nach der letzten Belastung (t4),
- 24 Stunden nach der letzten Belastung (t5).

Im Anschluss wird die Tensiomyografie (TMG) Messung gemacht. Bei der TMG werden im Laufe eines Testtages Kontraktionseigenschaften des M. vastus medialis und des M. biceps femoris zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen und miteinander verglichen. Während der ersten Messung wird eine geeignete Spannung (mV) je Muskel individuell eingestellt und soll für alle Messungen des gesamten Testtages übernommen werden. Um stabile Werte zu erhalten, wird ebenso die exakte Position der Elektroden und der Sensorspitze am Oberschenkel gekennzeichnet. Zur Analyse der TMG-Messung werden die Parameter  $D_m$  (maximale radiale Verschiebung des Muskelbauchs; mm),  $T_d$  (die Verzögerungszeit zwischen dem Beginn der elektrischen Stimulation und 10% von  $D_m$ ; ms) und  $T_c$  (Kontraktionszeit zwischen 10% und 90% der  $D_m$ ; ms) herangezogen und miteinander verglichen (Traxler & Zinnburg, 2016).

Die TMG-Messungen erfolgen zu folgenden Zeitpunkten (Traxler & Zinnburg, 2016):

- Zu Beginn des Testtages (Ruhe Wert)
- Vor jedem Berglauf
- Nach jedem Berglauf
- Vor jeder Regenerations-Intervention
- Nach jeder Regenerations-Intervention
- 30 Minuten nach Abbruch des letzten Berglaufs
- 60 Minuten nach Abbruch des letzten Berglaufs
- 180 Minuten nach Abbruch des letzten Berglaufs
- 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs vor dem Aufwärmen
- 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs nach dem Aufwärmen

Mit der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse des Effekts von CWI auf die Leistungsfähigkeit, HF, Laktatkonzentration, und Blutparameter (CK, GLU, WBC, LYM, GRAN) sowie die Parameter ( $T_c$ ,  $T_d$ ,  $D_m$ ) der TMG haben sich meine Kollegin Bianca Traxler und mein Kollege Michael Zinnburg in ihrer gemeinsamen Diplomarbeit (Traxler & Zinnburg, 2016) auseinandergesetzt.

Alle Durchgänge verlaufen ident. Nach der letzten Regenerationsphase wird die Aufwärmphase und damit der Ankle Hop zum fünften Mal wiederholt. 180 Minuten nach Abbruch des letzten Berglaufs wird den Probanden ein Langzeit-EKG Rekorder angelegt, der für die folgenden 21 Stunden (über Nacht) die HRV misst. 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs wird die HRV Aufzeichnung beendet und ein weiteres Mal die Aufwärmphase für die Durchführung des Ankle Hops absolviert.

Zu den Zeitpunkten 24 Stunden, 48 Stunden, 72 Stunden und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs bewerten die Probanden anhand der VAS den Grad von DOMS in den unteren Extremitäten.

Es werden nun die einzelnen Durchgänge näher beschrieben:

### 3.4.1 Aufwärmphase (10 Minuten)

Vor jedem Berglauf findet eine 5-minütige Aufwärmphase auf einem Laufband bei 8 km/h statt. Im Anschluss aktivieren und mobilisieren die Probanden ihre Fußgelenke bei fünf bis zehn Seilsprüngen für den folgenden Ankle Hop. Im Anschluss an den Ankle Hop wird kapillares Blut zur Bestimmung der Ruhe-Laktatkonzentration abgenommen. Vor dem Start der Belastungsphase erfolgt eine TMG-Messung (Traxler & Zinnburg, 2016). Der Ablauf der Aufwärmphase wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht:

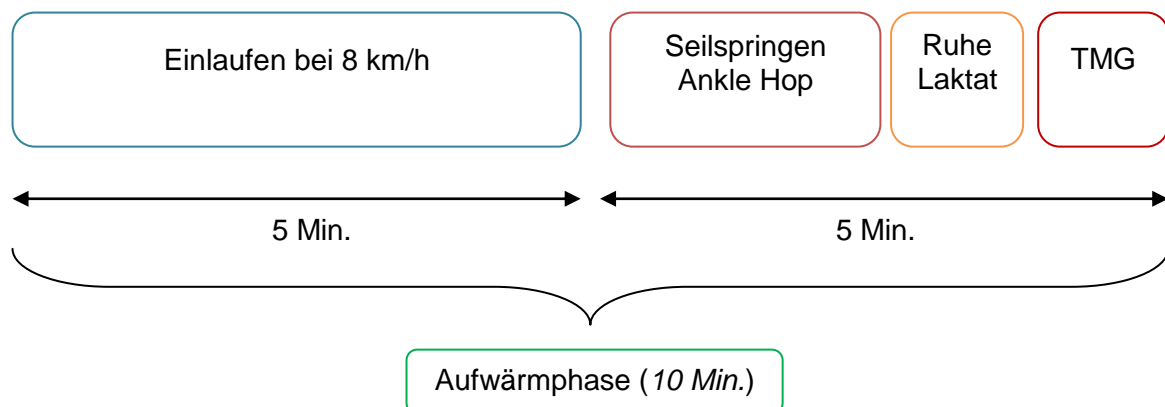


Abb. 10: Zeitlicher Ablauf der Aufwärmphase (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016)

### 3.4.2 Belastungsphase (All Out)

Der Berglauf findet auf dem Laufband HP Cosmos (Modell Quasar) statt und startet bei einer Steigung von 5 % und einer Geschwindigkeit von 10 km/h. Die Geschwindigkeit

bleibt während des gesamten Berglaufs konstant. Alle vier Minuten stoppt das Laufband für 15 Sekunden. Direkt nach dem Laufbandstopp wird die HF anhand der Polar Pulsuhr (Seriennummer: N2965) notiert und es erfolgt eine kapillare Blutabnahme zur Laktatbestimmung. Danach wird die Steigung des Laufbands um weitere 2 % erhöht. Das Laktat und die HF werden nach jeder vollständig gelaufenen Stufe gemessen. Die Probanden laufen so lange, bis die maximale körperliche Erschöpfung eintritt. Beim Abbruch der Belastung wird nochmals die HF notiert. Die einzelnen Bergläufe dauern beim Kontrolllauf im Durchschnitt  $16,90 \pm 3,31$  Minuten und  $17,28 \pm 2,90$  Minuten beim Testlauf (Traxler & Zinnburg, 2016).

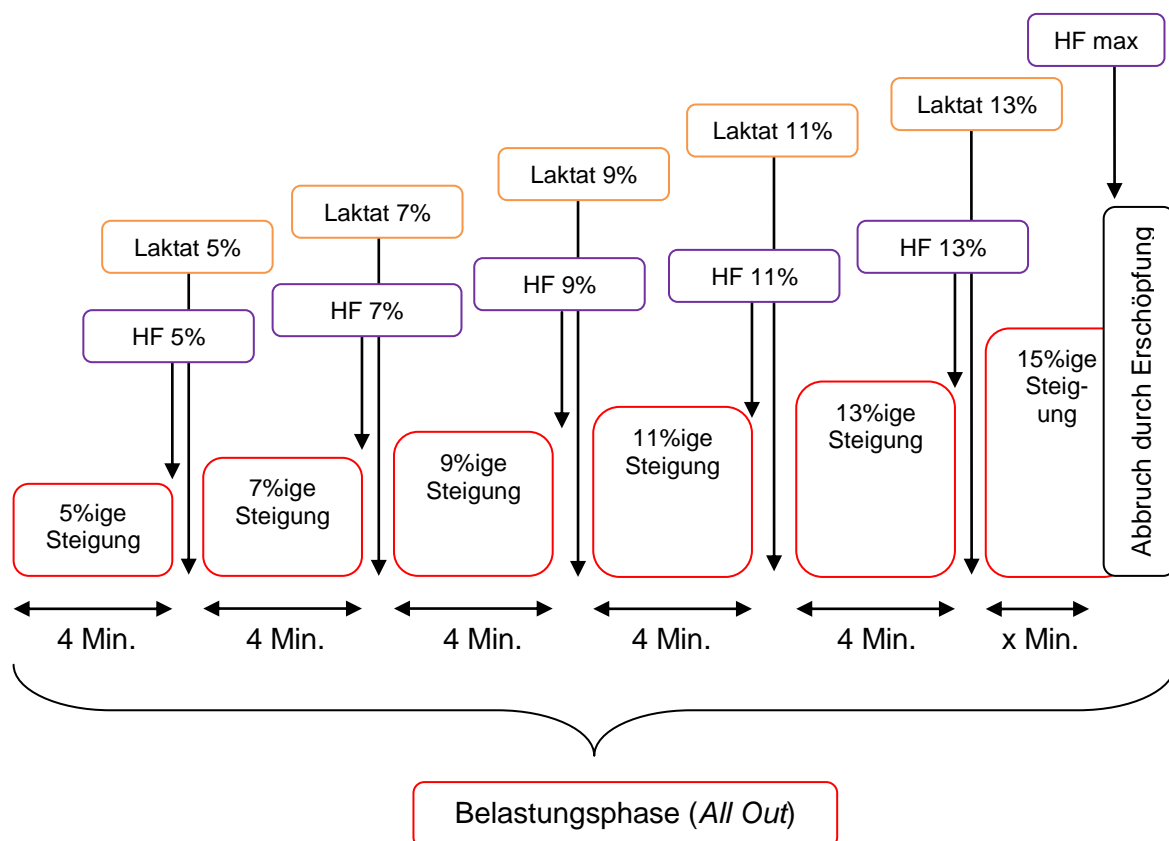


Abb. 11: Zeitlicher Ablauf der Belastungsphase (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016)

### 3.4.3 Regenerationsphase (30 Minuten)

Direkt nach Abbruch des Berglaufs erfolgt eine TMG-Messung und eine Minute sowie fünf Minuten danach eine Blutabnahme zur Laktatanalyse. 10 Minuten nach Beendigung des Berglaufs findet eine 20-minütige Regenerationsphase, die beim Testlauf mit einer Intervention in Form von CWI und beim Kontrolllauf mit einer passiven Regeneration auf einem Stuhl sitzend stattfindet. Per Los wird entschieden, an welchem der beiden

Untersuchungstage die Kryokompressionshose der Firma „Aquila Sports GmbH“ in der Regenerationsphase getragen wird. Unmittelbar vor und nach der 20-minütigen Regeneration wird eine TMG-Messung durchgeführt. Danach ist ein vollständiger Durchgang beendet (Traxler & Zinnburg, 2016).

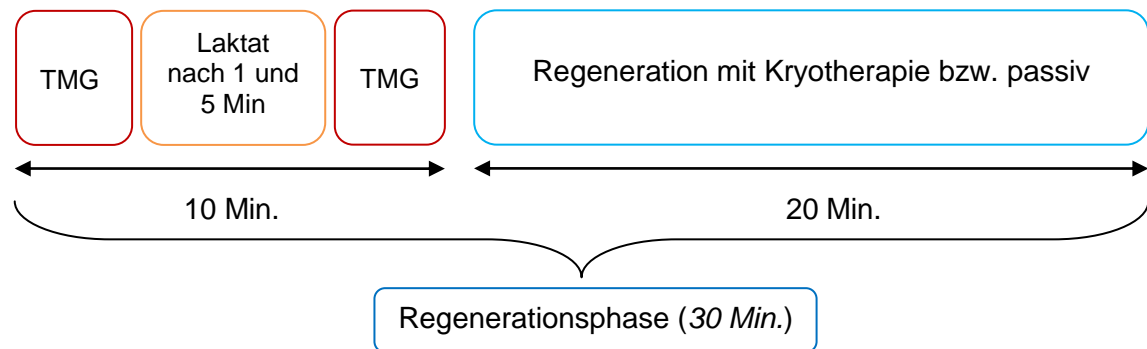


Abb. 12: Zeitlicher Ablauf der Regenerationsphase (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016)

### 3.5 Die Kryokompressionshose

An der Innenseite der Kältehose sind kleine Kanäle eingearbeitet, durch die das Eiswasser im Temperaturbereich von 8 °C bis 15 °C fließen kann. Die Kühlschicht ist aus thermoplastischem Polyurethan (TPU) gefertigt und die Innenfütterung besteht aus Nylon.



*Abb. 13: Wasserkanäle (links) und Kryokompressionshose (rechts) (Aquila Sports GmbH, 2017)*

Die Außenhülle der Hose wurde aus "high-weight tricot" Kompressionsmaterial hergestellt (87 % Nylon, 13 % Spandex, 480 gm/yard Dichte) und besitzt an der Außenseite der Hosenbeine einen Reißverschluss, welcher das An- und Ausziehen erleichtert. Um einen positiven Effekt zu erhalten, soll die Kryohose möglichst enganliegend getragen werden. Sie ist durch einen eingearbeiteten Schlauch mit einem Behälter mit Eiswasser verbunden (Aquila Sports GmbH, 2017).



*Abb. 14: Kühleinheit (Aquila Sports GmbH, 2017)*

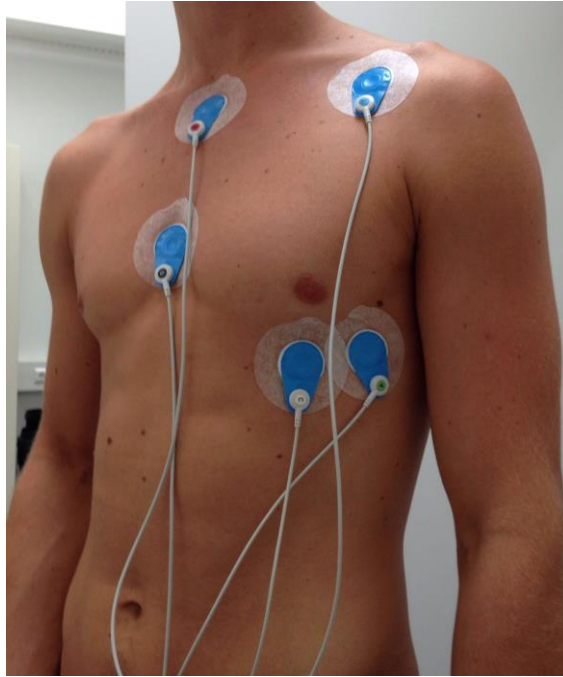
Der Behälter umfasst neun Liter und ist zur Isolation in Polyurethanschaum gehüllt und mit Polyvinylchlorid (PVC) beschichtetem Gewebe abgedeckt. Eine integrierte Zentrifugalpumpe sorgt für die ständige Wasserzirkulation. Das System kann sowohl mit einem Akku bis zu zwei Stunden als auch mit einem Netzteil betrieben werden (Aquila Sports GmbH, 2017).

### **3.6 Ernährungsstandards**

In der 20-minütigen Pause bekommen die Probanden zwei kohlenhydratreiche Gels (Power Bar, Geschmacksrichtung: Fruit, Zusammensetzung: 107 kcal, 0 g Fett (davon 0 g gesättigte Fettsäuren), 25,7 g Kohlenhydrate (davon 14,6 g Zucker), 303 mg Salz) zu essen, um mit ausreichend Energie für die folgenden Belastungen versorgt zu sein (vgl. Traxler & Zinnburg, 2016). Zusätzlich dürfen die Probanden ausschließlich Wasser trinken. Die Wahl bei der Frage nach einer standardisierten Nahrungszufuhr während der Untersuchungstage fiel auf die Gels, da diese bereits nach wenigen Minuten und somit vor dem darauffolgenden Berglauf in den Blutkreislauf aufgenommen werden.

### **3.7 HRV**

Am Ende des Untersuchungstages (180 Minuten nach Abbruch des letzten Berglaufs) wird den Probanden über fünf Elektroden der Langzeit-EKG Rekorder „medilog AR12 plus“ angelegt, mit welchem die HRV über Nacht aufgezeichnet wird.



*Abb. 15: Positionierung der Elektroden des HRV-Rekorders*

24 Stunden nach Beendigung des letzten Berglaufs wird die HRV Aufzeichnung der Probanden beendet, die Daten werden mit Hilfe der Software Medilog Darwin v2 2.6.0 übertragen und aufbereitet und die Elektroden abgenommen.

### **3.8 DOMS mittels VAS**

Um den Grad der Muskelschmerzen bzw. des Muskelkaters zu quantifizieren wird in dieser Studie die VAS herangezogen. Die Probanden bewerten zu den Zeitpunkten

- 24 Stunden,
- 48 Stunden,
- 72 Stunden und
- 96 Stunden

nach Abbruch des letzten Berglaufs den Grad ihrer Muskelschmerzen in den unteren Extremitäten.

### **3.9 SKI mittels Ankle Hop**

Der Ankle Hop wird beidbeinig und barfuß bzw. mit Socken auf einer Matte durchgeführt. Innerhalb von 10 Sekunden werden aus den besten fünf Sprüngen die Mittelwerte der



Kontaktzeit am Boden [ms], sowie der Sprunghöhe [cm] mittels Software Jumper FiTRONiC (Jumper Version 1.30) gemessen. Aus diesen beiden Parametern setzt sich der SKI zusammen, wodurch die Einzelmessungen gut miteinander vergleichbar werden. Der SKI ist definiert durch die Sprunghöhe dividiert durch die Kontaktzeit.

Im Rahmen des Kontroll- bzw. Testlaufs werden jeweils fünf Messungen des Ankle Hops während der Aufwärmphase, welche in 3.4.1 genauer ausgeführt wird, zu den Zeitpunkten

- nach dem ersten Berglauf
- nach dem zweiten Berglauf
- nach dem dritten Berglauf
- nach dem vierten Berglauf und
- 24h nach Abbruch des letzten Berglaufs

durchgeführt.

### **3.10 Weitere Rahmenbedingungen**

An folgende weitere Rahmenbedingungen haben sich die Probanden im Rahmen der Testungen zu halten (Traxler & Zinnburg, 2016):

Um zum Zeitpunkt der Hauptuntersuchungen einen ermüdungsfreien Zustand zu gewährleisten, dürfen die Probanden ab zwei Tage vor den jeweiligen Untersuchungstagen sportliche Aktivität mit leichter Intensität im Ausmaß von max. zwei Stunden Radfahren bzw. eine Stunde Laufen absolvieren. Ab 24 Stunden vor der Testung darf kein Training mehr absolviert werden. Außerdem ist sportliche Aktivität bis zur Blutuntersuchung 24 Stunden nach Beendigung des letzten Berglaufs untersagt.

Zudem werden die Probanden darauf hingewiesen, die Ernährung vor den jeweiligen Hauptuntersuchungen in ähnlichem Ausmaß und in vergleichbarer Zusammensetzung zu halten und gegebenenfalls zu protokollieren. Die Probanden werden außerdem ersucht am Tag des Test- und Kontrolllaufes das gleiche Frühstück zu sich zu nehmen und auf koffeinhaltige Getränke und bis zu 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs auf Alkohol zu verzichten.



## 4 Konkrete Fragestellung

In dieser Studie soll überprüft werden, ob es einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Erholung bzw. Regeneration zwischen einer Intervention in Form von Kryotherapie an den unteren Extremitäten und einer passiven Intervention nach einer intensiven Ausdauerbelastung gibt. Im Besonderen werden folgende Fragen bearbeitet:

- (I) Welche Auswirkung hat Kryotherapie auf den Muskelkater (DOMS)?
- (II) Welche Auswirkung hat Kryotherapie auf die längerfristige Herzratenvariabilität (HRV)?
- (III) Welche Auswirkung hat Kryotherapie auf den Schnellkraftindex (SKI), gemessen am Ankle Hop?

Die entsprechenden Nullhypothesen lauten somit:

H<sub>0</sub>: Es gibt keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Erholung bzw. Regeneration zwischen einer Intervention in Form von Kryotherapie an den unteren Extremitäten und einer passiven Intervention nach einer intensiven Ausdauerbelastung.

- (I) Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrolllauf hinsichtlich DOMS.
- (II) Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrolllauf hinsichtlich der längerfristigen HRV.
- (III) Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrolllauf hinsichtlich des SKI, gemessen am Ankle Hop.



## 5 Statistische Datenauswertung

Zur Auswertung der Daten wurde eine empirische, quantitative Forschungsmethode gewählt. Alle Daten der 12 Probanden wurden anonymisiert und für Dritte unzugänglich gespeichert. Zur Auswertung deskriptiver Statistiken, welche Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) und ihre Darstellung durch Diagramme beinhaltet, wurde ausschließlich das Datenverarbeitungsprogramm Microsoft Excel verwendet. Inferenzstatistische Auswertungen wurden sowohl mit Microsoft Excel sowie SPSS durchgeführt.

Microsoft Excel wurde für unabhängige t-Tests für gepaarte Stichproben bei zweiseitiger Verteilung herangezogen, um die Ergebnisse des Testlaufs mit den Ergebnissen des Kontrolllaufs zu den jeweiligen Zeitpunkten zu vergleichen.

Des weiteren wurde für die Auswertung von DOMS und Ankle Hop aufgrund der größeren Anzahl an Messzeitpunkten eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt, um Gruppen- und Zeiteffekte sowie eine Interaktion, also ein Gruppeneffekt in Bezug auf die Zeit, feststellen zu können. Die ANOVA testet, ob sich die Mittelwerte mehrerer abhängiger Gruppen unterscheiden. Sie ist demnach als eine Verallgemeinerung eines t-Tests zu verstehen.

Voraussetzung einer ANOVA mit Messwiederholung ist u.a. Sphärizität, die Homogenität der Varianzen. Sphärizität liegt vor, falls die Varianz der Differenzen zwischen jeweils zwei Messzeitpunkten gleich ist und ist somit erst ab drei Messzeitpunkten relevant. Diese Bedingung wurde mittels Mauchly-Test auf Sphärizität getestet. Sowohl bei DOMS ( $p < 0,001$ ) als auch beim Ankle Hop ( $p = 0,007$ ) wurde die Sphärizität verletzt. Die Signifikanztests werden daher mit einem Korrekturfaktor Epsilon ( $\epsilon$ ) angepasst. Da für beide Parameter beim Mauchly-Test auf Sphärizität  $\epsilon < 0,75$  ist, wird die Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet.

Im Rahmen der ANOVA mit Messwiederholung beschreibt der Innersubjekteffekt den direkten Effekt eines Faktors auf die abhängige Variable. Es wird also der Effekt der Zeit innerhalb von Personen untersucht. Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen einen eventuellen Gruppeneffekt (Kryotherapie vs. passive Intervention).

Während der *F*-Test in Fall von DOMS und Ankle Hop zeigt, dass ein Effekt in Bezug auf die Messzeitpunkte besteht, muss anhand von Post-hoc-Tests geklärt werden, zwischen welchen Messzeitpunkten jeweils signifikante Unterschiede bezüglich der beiden Parameter bestehen. Bei Post-hoc-Tests wird prinzipiell für jede Kombination von zwei Mittelwerten ein t-Test durchgeführt. Bei der Auswertung von DOMS und Ankle Hop

werden mehrfache Paarvergleiche durchgeführt und bei jedem Paarvergleich verändert sich der Alpha-Fehler. Aus diesem Grund wird die Bonferroni-Korrektur angewendet, welche unter Berücksichtigung der Anzahl der Vergleiche das  $\alpha$  entsprechend anpasst (Field, 2009, S. 347-380).

Für die gesamte Auswertung wurde ein Alpha von 5 % festgelegt, das besagt, dass bei einem Signifikanzniveau von  $>0,05$  die Nullhypothese ( $H_0$ ) angenommen wird, bei einem Wert  $<0,05$  wird die Nullhypothese verworfen und  $H_1$  angenommen.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 DOMS

#### 6.1.1 Einfache Vergleiche der jeweiligen Zeitpunkte

Die Probanden kommen gesund und erholt zu den jeweiligen Testungen. Die Baseline liegt daher bei allen Probanden an beiden Testungstagen bei 0 mm auf der VAS (visual analogue scale).

Zum ersten Zeitpunkt, 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs, wird der Grad des Muskelschmerzes mit passiver Intervention mit  $21 \pm 21$  mm und mit Kälteapplikation mit  $13 \pm 13$  mm bewertet. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,220$ . Es gibt somit keinen signifikanten Unterschied.

Zum zweiten Zeitpunkt, 48 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs, wird der Grad des Muskelschmerzes mit passiver Intervention mit  $14 \pm 9$  mm und mit Kälteapplikation mit  $13 \pm 13$  mm bewertet. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,605$ . Es gibt somit keinen signifikanten Unterschied.

Zum dritten Zeitpunkt, 72 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs, wird der Grad des Muskelschmerzes mit passiver Intervention mit  $12 \pm 9$  mm und mit Kälteapplikation mit  $3 \pm 4$  mm bewertet. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,011$ . Es gibt somit einen signifikanten Unterschied.

Zum vierten Zeitpunkt, 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs, wird der Grad des Muskelschmerzes mit passiver Intervention mit  $4 \pm 6$  mm und mit Kälteapplikation mit  $1 \pm 1$  mm bewertet. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,075$ . Es gibt somit keinen signifikanten Unterschied.

Tab. 3: Vergleich von DOMS zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs; MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung

	passiv		Kryotherapie		t-Test
	MW	SD	MW	SD	p
<b>24 Stunden</b>	21	21	13	13	0,220
<b>48 Stunden</b>	14	9	13	13	0,605
<b>72 Stunden</b>	12	9	3	4	<b>0,011</b>
<b>96 Stunden</b>	4	6	1	1	0,075

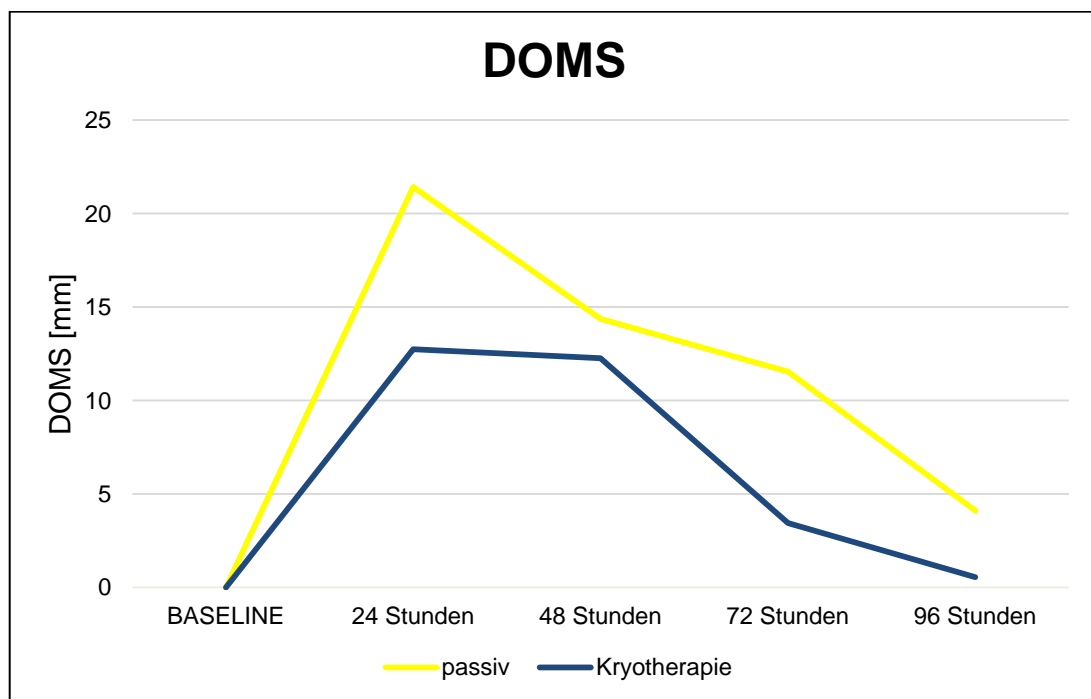


Abb. 16: Vergleich der Mittelwerte von DOMS beim Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) von der gemeinsamen Baseline zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs



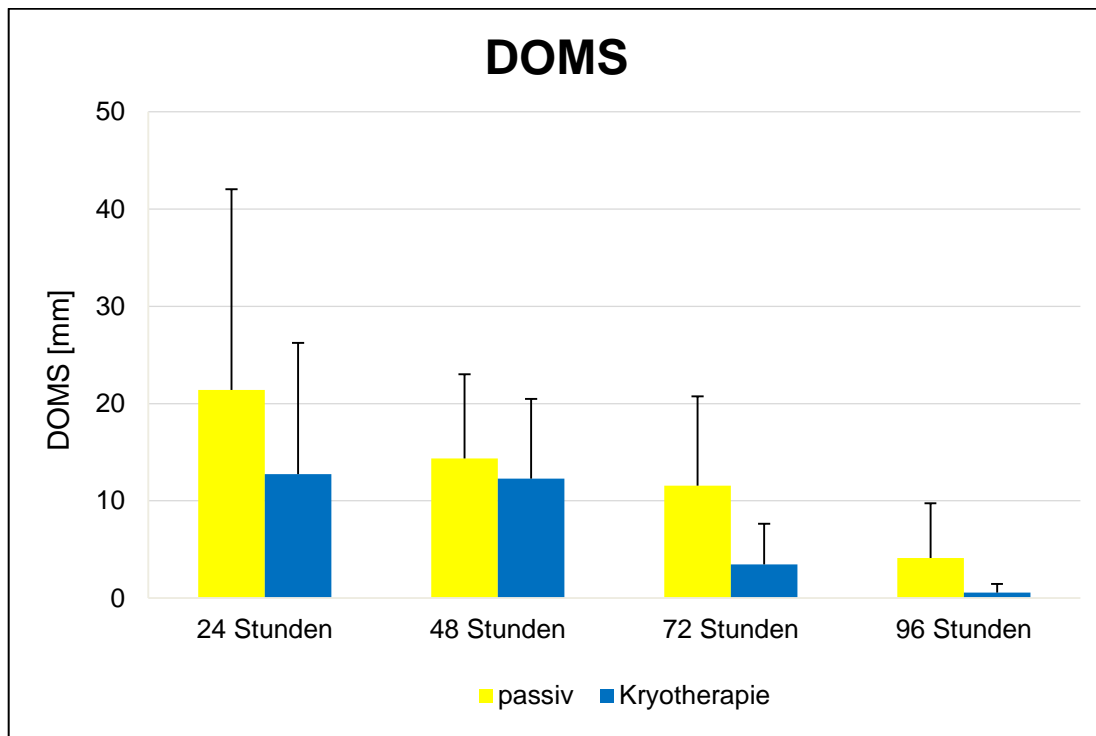


Abb. 17: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen von DOMS zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs

### 6.1.2 Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte

Nach Verletzung der Sphärizität ergibt der Test auf Innersubjekteffekte unter Verwendung der Greenhouse-Geisser Korrektur mit  $p < 0,001$  einen signifikanten Effekt in Bezug auf die Zeit. Die Zeitpunkte der Erhebung haben folglich einen signifikanten Einfluss auf DOMS. Alle beobachteten Zeiteffekte sind wie folgt zu entnehmen:

- Die paarweisen Vergleiche zwischen der Baseline und den Zeitpunkten 24 Stunden ( $p=0,003$ ), 48 Stunden ( $p<0,001$ ) und 72 Stunden ( $p=0,001$ ) zeigen einen signifikanten Unterschied.
- Der Vergleich zwischen dem Zeitpunkt 24 Stunden und dem Zeitpunkt 96 Stunden ( $p=0,013$ ) zeigt einen signifikanten Unterschied.
- Der Vergleich zwischen dem Zeitpunkt 48 Stunden und dem Zeitpunkt 96 Stunden ( $p=0,002$ ) zeigt einen signifikanten Unterschied.
- Der Vergleich zwischen dem Zeitpunkt 72 Stunden und dem Zeitpunkt 96 Stunden ( $p=0,038$ ) zeigt einen signifikanten Unterschied.
- Alle weiteren paarweisen Vergleiche weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

Mit einem Signifikanzniveau von  $p=0,115$  liegt kein Gruppeneffekt vor. Die Messwerte unterscheiden sich folglich im Vergleich von Testlauf und Kontrolllauf nicht signifikant voneinander. Außerdem ist eine Interaktion von Zeit und Gruppe mit  $p=0,373$  nicht gegeben. Die Gruppen verhalten sich somit nicht signifikant unterschiedlich in Bezug auf die Zeit.

Tab. 4: Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte (DOMS)

Effekt	Signifikanzniveau nach Greenhouse Geisser
Zeit	$p<0,001$
Gruppe	$p=0,115$
Zeit * Gruppe	$p=0,373$

Insgesamt kann die Nullhypothese ( $H_0$  (I)) verworfen werden und ( $H_1$  (I)) angenommen werden. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrolllauf hinsichtlich DOMS zum Zeitpunkt 72 Stunden.

## 6.2 Herzratenvariabilität (HRV)

### 6.2.1 rMSSD

Die Werte des Parameters rMSSD, welcher die parasympathische Aktivität anzeigt, wurden für zwei Zeitspannen jeweils nach dem Testlauf und Kontrolllauf ausgewertet. Größere Werte der rMSSD zeigen eine höhere Aktivität des Parasympathikus an.

Die erste Zeitspanne umfasst eine Stunde von 02:00 bis 03:00 Uhr während der Folgenacht eines Laufs. Die rMSSD beträgt mit passiver Intervention  $66,10 \pm 29,51$  ms und mit Kälteapplikation mit  $71,70 \pm 29,79$  ms. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,0411$ . Es gibt somit einen signifikanten Unterschied.

Die zweite Zeitspanne, welche die gesamte Nacht repräsentiert, umfasst vier Stunden von 01:00 bis 05:00 Uhr während der Folgenacht eines Laufs. Die rMSSD beträgt mit passiver Intervention  $68,98 \pm 28,63$  ms und mit Kälteapplikation mit  $71,39 \pm 28,54$  ms. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,4084$ . Es gibt somit keinen signifikanten Unterschied.

Tab. 5: Vergleich der rMSSD zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe; MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung

	passiv		Kryotherapie		t-Test
	MW	SD	MW	SD	p
<b>02:00-03:00 Uhr</b>	66,10	29,51	71,70	29,79	<b>0,041</b>
<b>01:00-05:00 Uhr</b>	68,98	28,63	71,39	28,54	0,408

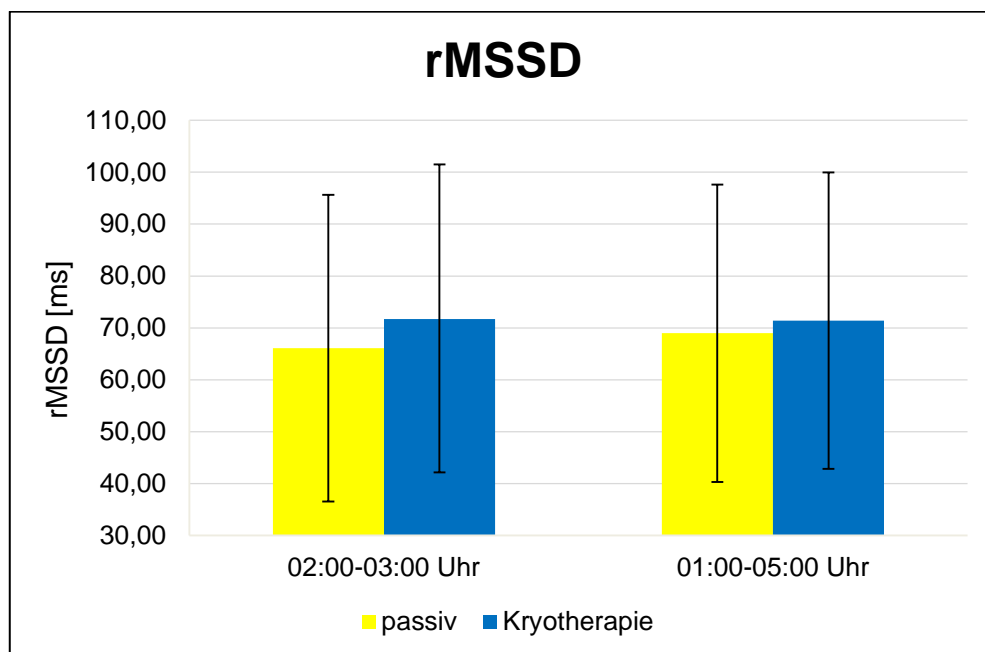


Abb. 18: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der rMSSD zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe

## 6.2.2 SDNN

Die Werte des Parameters SDNN, welcher die Gesamtvariabilität widerspiegelt, wurden für zwei Zeitspannen jeweils nach dem Testlauf und Kontrolllauf ausgewertet. Größere Werte der SDNN sind als höhere Gesamtvariabilität zu verstehen.

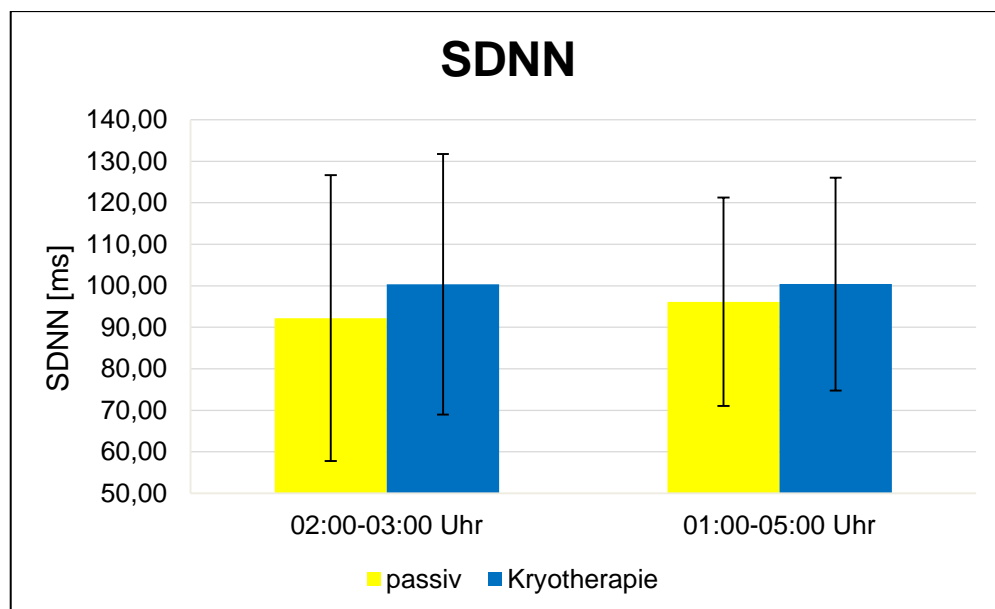
Die erste Zeitspanne umfasst eine Stunde von 02:00 bis 03:00 Uhr während der Folgenacht eines Laufs. Die SDNN beträgt mit passiver Intervention  $92,22 \pm 34,44$  ms und

mit Kälteapplikation mit  $100,37 \pm 31,41$  ms. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,1557$ . Es gibt somit keinen signifikanten Unterschied.

Die zweite Zeitspanne, welche die gesamte Nacht repräsentiert, umfasst vier Stunden von 01:00 bis 05:00 Uhr während der Folgenacht eines Laufs. Die rMSSD beträgt mit passiver Intervention  $96,15 \pm 25,10$  ms und mit Kälteapplikation mit  $100,41 \pm 25,63$  ms. Im direkten Vergleich der beiden Interventionsmethoden beträgt  $p=0,2242$ . Es gibt somit keinen signifikanten Unterschied.

*Tab. 6: Vergleich der SDNN zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe; MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung*

	passiv		Kryotherapie		t-Test
	MW	SD	MW	SD	p
<b>02:00-03:00 Uhr</b>	92,22	34,44	100,37	31,41	0,156
<b>01:00-05:00 Uhr</b>	96,15	25,10	100,41	25,63	0,224



*Abb. 19: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der SDNN zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe*

Insgesamt kann die Nullhypothese ( $H_0$  (II)) verworfen werden und ( $H_1$  (II)) angenommen werden. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrolllauf hinsichtlich der längerfristigen HRV in der Zeitspanne 02:00 bis 03:00 Uhr des Parameters rMSSD.

## 6.3 Ankle Hop

### 6.3.1 Einfache Vergleiche der jeweiligen Zeitpunkte

Die Probanden führen sowohl im Rahmen des Testlaufs sowie des Kontrolllaufs vor der ersten Belastungsphase einen Ankle Hop durch. Dieser gilt als Baseline für die folgenden fünf Zeitpunkte.

Zu jedem Zeitpunkt werden Testlauf und Kontrolllauf miteinander verglichen. Im direkten Vergleich der Rohdaten des SKI (Schnellkraftindex) gibt es zu keinem der sechs Zeitpunkte einen signifikanten Unterschied.

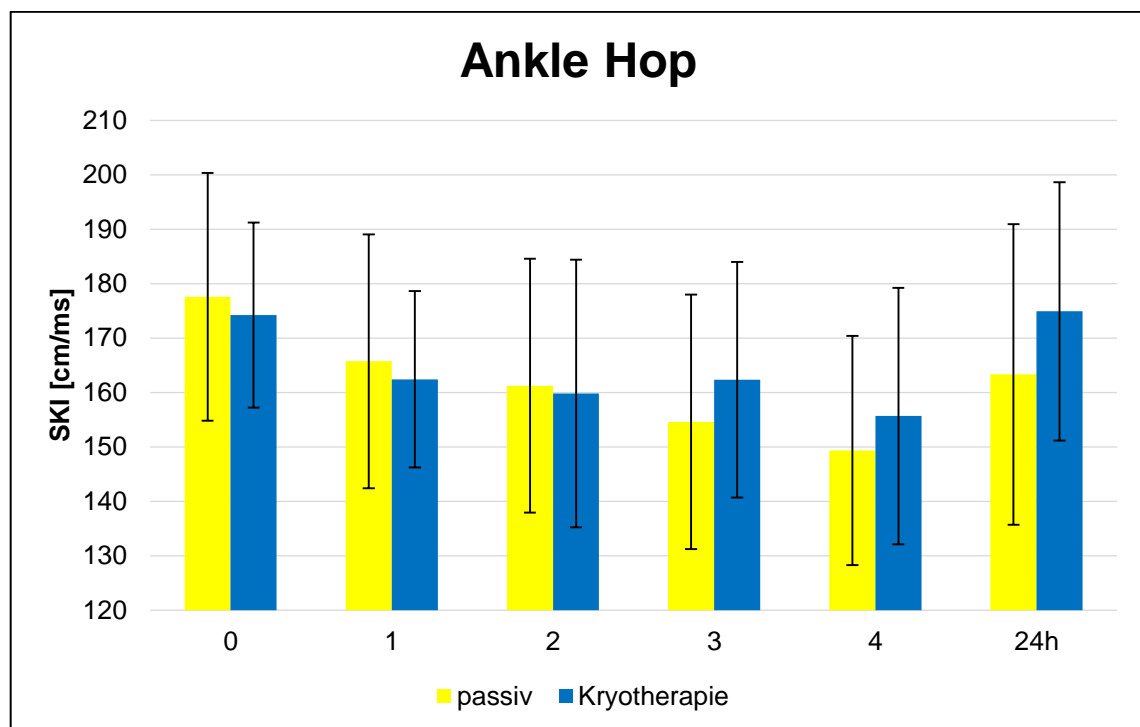


Abb. 20: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen des SKI zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten Baseline (0), nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h)

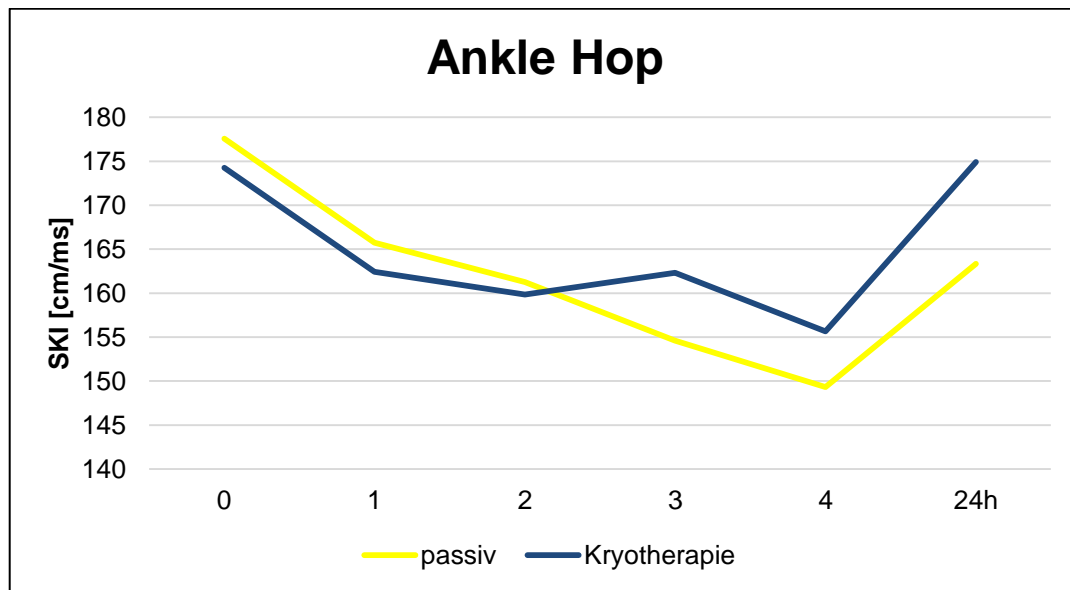


Abb. 21: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte des SKI zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten Baseline (0), nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h)

Wird jedoch der prozentuelle Abfall zu jedem Zeitpunkt zur jeweiligen Baseline miteinander verglichen, gibt es zum Zeitpunkt 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs einen signifikanten Unterschied ( $p=0,0436$ ) zwischen Kryotherapie und passiver Regeneration.

Tab. 7: Vergleich des SKI in Bezug auf die Baseline (0) in % zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h); MW=Mittelwert

	passiv	Kryotherapie	t-Test
	MW in %	MW in %	p
nach 1. BL	-6,66	-6,79	0,991
nach 2. BL	-9,20	-8,27	0,863
nach 3. BL	-12,95	-6,84	0,071
nach 4. BL	-15,91	-10,66	0,187
24h nach 4. BL	-8,02	+0,38	0,044

### 6.3.2 Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte

Nach Verletzung der Sphärizität ergibt der Test auf Innersubjekteffekte unter Verwendung der Greenhouse-Geisser Korrektur mit  $p < 0,001$  einen signifikanten Effekt in Bezug auf die Zeit. Die Zeitpunkte der Erhebung haben folglich einen signifikanten Einfluss auf den SKI. Alle beobachteten Zeiteffekte sind wie folgt zu entnehmen (Baseline (0), nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h)):

- Die paarweisen Vergleiche zwischen Zeitpunkt (0) und den Zeitpunkten (1) ( $p = 0,001$ ), (2) ( $p = 0,001$ ), (3) ( $p < 0,001$ ) und (4) ( $p < 0,001$ ) zeigen einen signifikanten Unterschied.
- Der Vergleich zwischen Zeitpunkt (1) und Zeitpunkt (4) ( $p = 0,018$ ) zeigt einen signifikanten Unterschied.
- Der Vergleich zwischen Zeitpunkt (3) und Zeitpunkt (4) ( $p = 0,043$ ) zeigt einen signifikanten Unterschied.
- Der Vergleich zwischen Zeitpunkt (4) und Zeitpunkt (24h) ( $p = 0,001$ ) zeigt einen signifikanten Unterschied.
- Alle weiteren paarweisen Vergleiche weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

Mit einem Signifikanzniveau von  $p = 0,728$  liegt kein Gruppeneffekt vor. Die Messwerte unterscheiden sich folglich im Vergleich von Testlauf und Kontrolllauf nicht signifikant voneinander. Allerdings liegt ein Trend für eine Interaktion von Zeit und Gruppe vor. Die Gruppen verhalten sich zwar nicht signifikant unterschiedlich in Bezug auf die Zeit, allerdings ist  $p = 0,088$  als gute Tendenz zu deuten.

Tab. 8: Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte (Ankle Hop)

Effekt	Signifikanzniveau nach Greenhouse Geisser
Zeit	$p < 0,001$
Gruppe	$p = 0,728$
Zeit * Gruppe	$p = 0,088$

Insgesamt kann die Nullhypothese ( $H_0$  (III)) verworfen werden und ( $H_1$  (III)) angenommen werden. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrolllauf hinsichtlich des SKI, gemessen am Ankle Hop, zum Zeitpunkt 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs in Bezug auf die Baseline (0) in %.





## 7 Diskussion

Ziel der Studie war es, den Effekt von Kryotherapie als regenerative Intervention im Vergleich zu einer passiven Regeneration nach intensiven Ausdauerbelastungen auf physiologische und subjektive Regenerationsparameter zu untersuchen. Konkret wurden die Parameter DOMS, Herzratenvariabilität (HRV) und Ankle Hop auf signifikante Unterschiede zwischen Test- und Kontrolllauf getestet. In der Diskussion werden nun die Ergebnisse der Studie näher erläutert und analysiert und persönliche Stellungnahmen dazu abgegeben. Abschließend werden die Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse ganzheitlich zusammengefasst.

Die Haupteckkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Kryotherapie hat einen signifikanten positiven Effekt auf DOMS 72 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs.
- Kryotherapie hat einen signifikanten positiven Effekt auf den Parameter rMSSD der HRV im Zeitraum zwischen 02:00 und 03:00 Uhr.
- Kryotherapie lässt mit einem Signifikanzniveau von  $p=0,088$  einen Trend für einen positiven Effekt auf den Ankle Hop bezüglich der Interaktion zwischen Gruppen- und Zeiteffekt vermuten.
- Kryotherapie hat einen signifikanten positiven Effekt auf den Ankle Hop 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs verglichen mit der jeweiligen Baseline.

### *DOMS*

DOMS, gemessen anhand einer VAS (visual analogue scale) zählt zu einer der gängigsten Methoden, um den Muskelkater messbar zu machen. In der hier vorliegenden Studie wurde ein 100 mm VAS herangezogen. Die Mittelwerte zum Zeitpunkt 24 Stunden betragen mit Kryotherapie 13 mm, mit passiver Regeneration 21 mm. Zu den späteren Zeitpunkten sinken die Symptome – gemäß dem typischen Verlauf von DOMS – weiter ab und verschwinden nach dem Testlauf mit Kälteapplikation beinahe. Diese Ergebnisse, besonders der signifikante Unterschied zwischen den beiden Interventionsformen zum Zeitpunkt 72 Stunden, scheinen auf den ersten Blick sehr vorteilhaft für eine Kryotherapie. Dennoch sind die Resultate aufgrund der insgesamt sehr niedrigen Werte mit Vorsicht zu genießen. Der Höhepunkt der Symptome von DOMS ist laut Veqar (2013) 24 bis 48 Stunden nach der Belastung zu erwarten. Als Kontrast zu den Ergebnissen dieser Studie

können in der folgenden Tabelle Vergleichswerte aus Studien entnommen werden, in welchen ähnliche Belastungsreize gesetzt wurden:

Tab. 9: Vergleichswerte zu DOMS aus anderen Studien zu den Zeitpunkten 24 und 48 Stunden nach der Belastung; CWI=cold water immersion; PAS=passive Erholung

Studien	DOMS 24h		DOMS 48h		Belastungsreiz
	CWI	PAS	CWI	PAS	
Ascensão et.al. (2011)	37±19	61±16	31±15	47±15	Fußball Match
Bailey et.al. (2007)	46±9	68±16	44±16	57±09	Shuttle Run (90 Min.)
Crystal et.al. (2013)	64±22	49±28	52±23	46±27	40 Minuten Bergablauf
Elias et.al. (2013)	47±7	75±14	28±7	55±16	Football-Match (75 Min)
Ingram et.al. (2009)	30±10	50±10	30±10	50±10	Team-Sport (80 Min.), abschließend Shuttle Run (20 Min.)
Jakeman et.al. (2009)	34±18	23±13	30±26	33±21	10x10 CMJ
Pointon, Duffield, Cannon & Marino (2012)	45±9	57±9	--	--	2x30 Minuten Intervall- Sprints

Quelle: mod. n. Farnleitner (2014)

Es fällt auf, dass DOMS zu den beiden Zeitpunkten 24 und 48 Stunden nach dem Belastungsreiz in Summe deutlich höher bewertet wurde, als in der hier vorliegenden Studie. Das lässt sich möglicherweise auf folgende Faktoren zurückführen: Der Belastungsreiz könnte für das relativ gut trainierte Kollektiv ein zu geringer sein, sodass die muskuläre Beeinträchtigung zu schwach ist, um DOMS als verlässlichen Parameter berücksichtigen zu können. DOMS als Symptom nach Belastungen tritt meist nach neuen oder ungewohnten sowie exzentrischen Muskelkontraktionen auf (Cheung et al., 2013; Veqar, 2013). Diese Arten von Belastungsreizen waren in dieser Studie nicht gegeben. Außerdem stellt sich die Frage, ab welchem Schmerzausmaß tatsächlich von DOMS gesprochen werden kann und ob der hier vorliegende kleine Effekt, mit zusätzlich hohen Standardabweichungen, ein zu geringer war. Außerdem ist ein Anstieg der Granulozyten bei Entzündungsreaktionen bekannt (Aktories et al., 2009), welcher zum Zeitpunkt 24

Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs sowohl nach dem Testlauf als auch nach dem Kontrolllauf nicht erkennbar war und beinahe zur Baseline, vor den Belastungsreizen, zurückgekehrt ist (Traxler & Zinnburg, 2016).

Die ohnehin bereits kleine Stichprobenanzahl wurde außerdem weiter dezimiert, indem ein Proband in den Tagen (weniger als 48 Stunden) nach dem Test- bzw. Kontrolllauf weitere Belastungsreize gesetzt hat und drei Probanden weniger als 96 Stunden nach dem Test- bzw. Kontrolllauf durch andere sportliche Belastungen die Ergebnisse der VAS verfälscht haben. Diese Messwerte durften daher für beide Testungen nicht berücksichtigt werden. Nach den in 3.2.2 angeführten Ausschlusskriterien, waren Belastungen ab 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs wieder zugelassen.

Da es sich bei DOMS um einen subjektiv bewerteten Parameter handelt, muss u.a. ein möglicher Placebo-Effekt bedacht werden, welcher die Ergebnisse zusätzlich beeinflussen haben könnte.

### *HRV*

Die Auswertung der HRV gestaltete sich aufgrund der geringen Anzahl vergleichbarer Studien und Richtwerte schwierig. Durch das Fehlen einer geeigneten Baseline eröffnen die Ergebnisse großen Spielraum für Diskussionen. Im Rahmen des gewählten Studiendesigns wäre die Messung einer Baseline nicht möglich gewesen, da diese – um valide zu sein – stationär und unter Berücksichtigung der SDNN die exakt gleiche Zeitspanne der eigentlichen Messung umfassen müsste. Aus diesem Grund war es nur möglich, die Messungen des Test- und Kontrolllaufs miteinander zu vergleichen. Wie bereits in 2.3.6 näher beschrieben, können Schwankungen der HRV auf vielfältige Einflussfaktoren zurückgeführt werden. Insbesondere hängt die Schlafqualität direkt mit der Qualität der HRV zusammen (Al Haddad et al., 2012). Herauszustreichen ist dennoch der signifikante Unterschied der rMSSD zwischen 02:00 und 03:00 Uhr nachts. Trotz der großen Schwankungen des interindividuellen Ausmaßes der HRV (Sammito et al., 2014) – und demnach großer Standardabweichungen – unterscheiden sich die Mittelwerte signifikant voneinander. Unter näherer Betrachtung der gesamten Nacht von 01:00 bis 05:00 Uhr ist kein signifikanter Unterschied mehr zu erkennen. Diese Resultate spiegeln die Schwierigkeit einer stabilen und aussagekräftigen Messung wider. Aufgrund der großen Zeitspanne erhöht sich mitunter die Möglichkeit von Einflussfaktoren, wie Wachphasen, mangelnde Schlafqualität über einen längeren Zeitraum sowie psychische Erregung. Ein weiterer Faktor, welcher die Ergebnisse in Frage stellt, ist die kleine Stichprobe. Insgesamt konnten nur die Aufzeichnungen von 10 Probanden für die

Auswertung herangezogen werden. Krankheitsbedingt lagen der Test- und Kontrolllauf bei zwei Probanden einige Wochen auseinander, wodurch die Ergebnisse der HRV verfälscht wurden und für die Auswertung nicht brauchbar waren. Iwasaki, Zhang, Zuckerman & Levine (2003) und Okazaki et al. (2005) berichten, dass ein mindestens 3-monatiges Ausdauertraining ausreicht, um eine Steigerung der HRV zu erzielen. Umgekehrt und besonders bei gut trainierten Sportlerinnen und Sportlern, kann es nach einer längeren sportlichen Pause noch schneller zu einer Reduktion der HRV kommen. Auf die anderen Parameter hatte diese sportliche Pause keinen derart relevanten Einfluss. Sowohl der Ankle Hop als auch DOMS repräsentieren die muskuläre Belastung gegenüber der HRV, die den Zustand des Herz-Kreislaufsystems widerspiegelt.

Besonders im Rahmen von Messungen der RR-Intervalle, welche von zahlreichen exogenen und endogenen Faktoren beeinflusst werden, wird eine HRV-Analyse nur in Kombination einer Ruhe-HRV-Messung bzw. einer geeigneten Baseline anhand von Wiederholungsmessungen unter gleichen Bedingungen empfohlen. Bisher wurden keine allgemeingültigen Grenzwerte für HRV Parameter gefunden. Aus diesem Grund können auf Basis einer Einzelmessung keine sinnvollen Aussagen über den Erholungszustand eines Menschen getätigt werden. Eine Interpretation sollte daher nur in Kombination mit weiteren klinischen Untersuchungen erfolgen. Insgesamt eignet sich allerdings die HRV zur Aufklärung über den derzeitigen Gesundheits- und Trainingszustand und zur Überprüfung der Wirksamkeit präventivmedizinischer Maßnahmen (Sammito et al., 2014). Die HRV in ihrer Komplexität und Sensibilität lässt noch viele Fragen unbeantwortet und eröffnet viel Platz für zukünftige Forschungsarbeiten in der Medizin, Psychiatrie und Sportwissenschaft.

### *Ankle Hop*

Erstmals wurde der Ankle Hop in diesem Kontext als Parameter der Schnellkraft bzw. Ermüdung auf muskulärer Ebene herangezogen. Von besonderem Interesse in dieser Studie ist außerdem, ob die Leistung des Ankle Hops mit den anderen Parametern zum Zeitpunkt 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs in Einklang steht.

Der Vergleich der Rohdaten des SKI (Schnellkraftindex) zeigt zu keinem der sechs Zeitpunkte einen signifikanten Unterschied. Es muss allerdings beim Ankle Hop beachtet werden, dass sich die jeweilige Baseline von Test- und Kontrolllauf unterscheiden. Daher wurde statt des bloßen Vergleichs der Rohdaten der Leistungsabfall des jeweiligen Testtages berücksichtigt. Es wurde der prozentuelle Leistungsabfall zu jedem Zeitpunkt in Bezug zur jeweiligen Baseline, wie in Tabelle 7 ersichtlich, ermittelt und die Daten des

Test- und Kontrolllauf miteinander verglichen. In Abbildung 21 werden die Verläufe des Leistungsabfalls des SKI mit Kryotherapie und passiver Intervention gegenübergestellt. Es fällt auf, dass trotz der höheren Baseline beim Kontrolllauf, der Leistungsabfall ein höherer war. Besonders interessant ist der Zeitpunkt 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs. In Summe konnten die Probanden nach der Regenerationsphase mit Kryohose in etwa dieselbe Leistung (+0,38 %), welche sie im erhaltenen Zustand am Vortag erbracht hatten, erneut abrufen. Im Gegensatz dazu konnte mit passiver Regeneration insgesamt mit einem Leistungsabfall von -8,02 % nur in etwa die Leistung erbracht werden, die nach dem zweiten Berglauf (-9,2 %) erzielt wurde. Es kommt daher zu einem signifikanten Unterschied. Sowie auch beim Parameter DOMS, ist nicht auszuschließen, dass der Placebo-Effekt einen Einfluss auf dieses Ergebnis gehabt hat.

### *Conclusio*

DOMS zum Zeitpunkt 24 Stunden, mit  $21 \pm 21$  mm (passiv) und  $13 \pm 13$  mm (mit Kryotherapie) ergibt zwar keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,22$ ), steht aber dennoch im Einklang mit den Resultaten des Ankle Hop. Beide Parameter repräsentieren muskuläre Ermüdung und deuten auf eine Tendenz in Richtung eines positiven Effekts von Kryotherapie hin. Außerdem ist anzumerken, dass im Rahmen der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung davon ausgegangen wird, dass sich die Stichprobe der beiden Gruppen tatsächlich voneinander unterscheidet. Im Fall dieser Studie hingegen wurden dieselben Probanden zu unterschiedlichen Zeitpunkten betrachtet. Die Resultate, insbesondere die Interaktion des Gruppen- und Zeiteffekts, sind daher weniger streng zu sehen, als in SPSS errechnet.

Limitierende Faktoren sind definitiv die geringe Stichprobenanzahl ( $n=12$ ) und die dennoch hohen Standardabweichungen, wodurch die Ergebnisse der statistischen Tests in ihrer Validität und Reliabilität in Frage zu stellen sind.

Besonders hervorzuheben ist schließlich das globale Resultat dieser Studie. Alle drei betrachteten Parameter ergaben mehr oder weniger deutliche Tendenzen eines ausschließlich positiven Effekts der angewendeten Kryotherapie auf die Regeneration.



# Literaturverzeichnis

- Aktories, K., Förstemann, U., Hofmann, F. & Starke, K. (2009). *Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie* (10. Auflage). München: Urban & Fischer/Elsevier
- Al Haddad, H., Laursen, P., Ahmaidi, S. & Buchheit, M. (2009). Nocturnal heart rate variability following supramaximal intermittent exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4, 435–447.
- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Lemaître, F., Ahmaidi, S. & Buchheit, M. (2010). Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. *Autonomic neuroscience: basic and clinical* 156, 111-116.
- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S. & Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International journal of sports medicine*, 8, 598–605.
- Al Haddad, H., Parouty, J. & Buchheit, M. (2012). Effect of daily cold water immersion on heart rate variability and subjective ratings of well-being in highly trained swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(1), 33-38.
- Almeida, A. C., Machado, A. F., Albuquerque, M. C., Netto, L. M., Vanderlei, F. M., Vanderlei, L. C., ... Pastre, C. M. (2016). The effects of cold water immersion with different dosages (duration and temperature variations) on heart rate variability post-exercise recovery: A randomized controlled trial. *Journal of science and medicine in sport*, 8, 676–681.
- Al-Nakhli, H. H., Petrofsky, J. S., Laymon, M. S. & Berk, L. S. (2012). The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. *Journal of visualized experiments*, 22(59), 3551.
- Aquilo Sports GmbH (2017). Zugriff am 20. Februar 2017 unter <https://www.aquilosports.com/>

- Ascensão, A., Leite, M., Rebelo, A. N., Magalhães, S. & Magalhães, J. (2011). Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *Journal of Sports Sciences*, 29(3), 217–225.
- Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N. & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 25(11), 1163–1170.
- Bastos, F. N., Vanderlei, L. C., Nakamura, F. Y., Bertollo, M., Godoy, M. F., Hoshi, R. A., ... Pastre, C. M. (2012). Effects of cold water immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability. *International journal of sports medicine*, 33(11), 873–879.
- Bernardi, L. & Piepoli, M. E. (2001). Autonomic nervous system adaptation during physical exercise. *Italian Heart Journal*, 2, 831-839.
- Bleakley, C., McDonough, S., Gardner, E., Baxter, G. D., Hopkins, J. T. & Davison, G.W. (2012). Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *The Cochrane database of systematic reviews*, (2), CD008262.
- Böning, D. (2002). Muskelkater. *Deutsches Ärzteblatt*, 99(6), 372-377.
- Boullosa, D. A., Abreu, L., Tuimil, J. L. & Leicht, A. S. (2012). Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *European journal of applied physiology*, 6, 2233–2242.
- Brophy-Williams, N., Landers, G. & Wallman, K. (2011). Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 665–670.
- Buchheit, M. & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 291, 451–458.
- Buchheit, M., Laursen, P. B. & Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 293, 133–141.



- Buchheit, M., Peiffer, J., Abbiss, C. & Laursen, P. (2009). Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 296, 421-427.
- Chandola, T., Heraclides, A. & Kumari, M. (2010). Psychophysiological biomarkers of workplace stressors. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35 (1), 51-57.
- Cheung, K., Hume, P. & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33, 145-164.
- Chmielewski, T. L., Myer, G. D., Kauffman, D. & Tillman, S. M. (2006). Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *Journal of orthopaedic sports physical therapy*, 36, 308–319.
- Crystal, N. J., Townson, D. H., Cook, S. B. & Laroche D. P. (2013). Effect of cryotherapy on muscle recovery and inflammation following a bout of damaging exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10): 2577-2586.
- Chu, D. (1992). *Jumping Into Plyometrics*. Champaign, IL: Leisure Press.
- Clays, E., de Bacquer, D., Crasset, V., Kittel, F., de Smet, P., Kornitzer, M., ... de Backer, G. (2011). The perception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(2), 185-191.
- Cleather, D. J. & Guthrie, S. R. (2007). Quantifying delayed-onset muscle soreness: a comparison of unidimensional and multidimensional instrumentation. *Journal of sports sciences*, 8, 845-850.
- Corbett, J., Barwood, M. J., Lunt, H. C., Milner, A. & Tipton, M. J. (2011). Water immersion as a recovery aid from intermittent shuttle running exercise. *European Journal of Sport Science*, 12(6), 509–514.
- Dong, J.-G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and therapeutic medicine*, 11(5), 1531-1536.
- Donoghue, A. D., Shimojo, H. & Takagi, H. (2011). Impact Forces of Plyometric Exercises Performed on Land and in Water. *Sports Health*, 3(3), 303–309.

- Ebben, W. P., Van der Zanden, T., Wurm, B. J. & Petushek, E. J. (2010). Evaluating plyometric exercises using time to stabilization. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 300–306.
- Elias, G. P., Wyckelsma, V. L., Varley, M. C., McKenna, M. J. & Aughey, R. J. (2013). Effectiveness of water immersion on post-match recovery in elite professional footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3):243-253.
- Eller-Berndl, D. (2015). *Herzratenvariabilität* (2. Aufl.). Wien: Verlagshaus der Ärzte GmbH.
- Eston, R. & Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 231–238.
- Farnleitner, C. (2014). *Kryotherapie nach physischer Belastung, zur Prävention und Behandlung von DOMS unter Berücksichtigung der Intervention und Dosierung von Kaltwasser*. Wien: Universität Wien, Universitätslehrgang Sportphysiotherapie.
- Felber Dietrich, D., Schindler, C., Schwartz, J., Barthélémy, J. C., Tschopp, J. M., Roche, F., ... SAPALDIA Team (2006). Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study. *Europace*, 8(7), 521-529.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3. Aufl.). London: SAGE Publications.
- Friedman, B. H. & Thayer, J. F. (1998). Autonomic balance revisited: panic anxiety and heart rate variability. *Journal of Psychosomatic Research*, 44(1), 133-151.
- Gabrielsen, A., Johansen, L. B. & Norsk, P. (1993). Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. *Journal of Applied Physiology*, 75(2), 581–585.
- Goldberger, J. J., Le, F. K., Lahiri, M., Kannankeril, P. J., Ng, J. & Kadish, A. H. (2006). Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 290, 2446–2452.
- Hautala, A. J., Tulppo, M. P., Mäkitallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S. & Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21, 238–245.

- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M. & Tulppo, M. P. (2009). Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(2), 107–15.
- Hemingway, H., Shipley, M., Brunner, E., Britton, A., Malik, M. & Marmot, M. (2005). Does autonomic function link social position to coronary risk? The Whitehall II study. *Circulation*, 111, 3071-3077.
- Hill, L. K. & Siebenbrock, A. (2009). Are all measures created equal? Heart rate variability and respiration – biomed 2009. *Biomedical Sciences Instrumentation*, 45, 71-76.
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.-P., Clarys, P. & Clijsen, R. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PloS one*, 10(9).
- Hottenrott, K., Hoos, O. & Esperer, H. D. (2006). Heart rate variability and physical exercise. Current status. *Herz*, 31(6), 544-552.
- Huang, W., Zhu, T., Pan, X., Hu, M., Lu, S. E., Lin, Y., ... Tang, X. (2012). Air pollution and autonomic and vascular dysfunction in patients with cardiovascular disease: interactions of systemic inflammation, overweight, and gender. *American Journal of Epidemiology*, 176(2), 117-126.
- Huppelsberg, J. & Walter, K. (2009). *Kurzlehrbuch Physiologie* (2., neu bearb. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Ihsan, M., Watson, G. & Abbiss, C. R. (2016). What are the Physiological Mechanisms for Post-Exercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise?. *Sports Medicine*, 46, 1095–1109.
- Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K. & Beilby, J. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of science and medicine in sport*, 12(3), 417–421.
- Iwasaki, K., Zhang, R., Zuckerman, J. H. & Levine, B. D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *Journal of Applied Physiology*, 95, 1575–1583.

- Jakeman, J. R., Macrae, R. & Eston, R. (2009). A single 10-min bout of coldwater immersion therapy after strenuous plyometric exercise has no beneficial effect on recovery from the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Ergonomics*, 52(4), 456–460.
- James, D. V. B., Barnes, A. J., Lopes, P., Wood, D. M. (2002). Heart rate variability: response following a single bout of interval training. *International journal of sports medicine*, 23, 247–251.
- Jennings, J. R. & Mack, M. E. (1984). Does aging differentially reduce heart rate variability related to respiration? *Experimental Aging Research*, 10(1), 19-23.
- Jensen, R. L. & Ebben, W. P. (2007). Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 763.
- Kanters, J. K., Højgaard, M. V., Agner, E. & Holstein-Rathlou, N. H. (1997). Influence of forced respiration on nonlinear dynamics in heart rate variability. *American journal of physiology*, 272(4 Pt 2), 1149-1154.
- King, M. & Duffield, R. (2009). The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1795–1802.
- Koskinen, P., Virolainen, J. & Kupari, M. (1994). Acute alcohol intake decreases short-term heart rate variability in healthy subjects. *Clinical Science*, 87, 225-230.
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W. & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 46(4), 233–240.
- Markworth (2009). *Physiologische Grundlagen* (23. Aufl.). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Minett, G. M., Duffield, R., Billaut, F., Cannon, J., Portus, M. R. & Marino, F. E. (2014). Cold-water immersion decreases cerebral oxygenation but improves recovery after intermittent-sprint exercise in the heat. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(4), 656–666.

- Monforte, R., Estruch, R., Valls-Solé, J., Nicolás, J., Villalta, J. & Urbano-Marquez, A. (1995). Autonomic and peripheral neuropathies in patients with chronic alcoholism. A dose-related toxic effect of alcohol. *Archives of Neurology*, 52(1), 45-51.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.-D. & Regnard, J. (2004). Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 508–517.
- Myllymäki, T., Rusko, H., Syväoja, H., Juuti, T., Kinnunen, M.-L. & Kyröläinen, H. (2012). Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 801–809.
- Okazaki, K., Iwasaki, K., Prasad, A., Palmer, M. D., Martini, E. R., Fu, Q., ... Levine, B. D. (2005). Dose-resonse relationship of endurance training for autonomic circulatory control in healthy seniors. *Journal of Applied Physiology*, 99, 1041–1049.
- Paddon-Jones, D. J. & Quigley, B. M. (1997). Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *International journal of sports medicine*, 18(8), 588–593.
- Parouty, J., Al Haddad, H., Quod, M., Leprêtre, P. M., Ahmaidi, S. & Buchheit, M. (2010). Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 109(3), 483–490.
- Penttilä, J., Helminen, A., Jartti, T., Kuusela, T., Huikuri, H., Tulppo, M., ... Scheinin, H. (2001). Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clinical Physiology*, 21, 365–376.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J. & Marino, F. E. (2011). Cold application for neuromuscular recovery following intense lower-body exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 2977–2986.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J. & Marino, F. E. (2012). Cold water immersion recovery following intermittent-sprint exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7):2483-94.
- Potach, D. H., & Chu, D. A. (2008). Plyometric training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (3rd ed.) (pp. 413–456). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Pournot, H., Bieuzen, F., Duffield, R., Lepretre, P. M., Cozzolino, C. & Hausswirth, C. (2011). Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), 1287–1295.
- Pump, B., Shiraishi, M., Gabrielsen, A., Bie, P., Christensen, N. J. & Norsk, P. (2001). Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water immersion in humans. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 280(6), 2607–2615.
- Pumprla, J., Howorka, K., Groves, D., Chester, M. & Nolan, J. (2002). Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *International Journal of Cardiology*, 84, 1–14.
- Rowell, G. J., Coutts, A. J., Reaburn, P. & Hill-Haas, S. (2011). Effect of post-match cold-water immersion on subsequent match running performance in junior soccer players during tournament play. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 1–6.
- Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klusmann, A., Weippert, M. & Böckelmann, I. (2014). Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. *AWMF online*, doi: 10.13140/2.1.5052.7684
- Sammito, S. & Bockelmann, I. (2015). Analyse der Herzfrequenzvariabilität. Mathematische Basis und praktische Anwendung. *Herz*, 76–84.
- Sandercock, G. R., Bromley, P. D. & Brodie, D. A. (2005). Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 433–439.
- Schaffer, T., Hensel, B., Weigand, C., Schüttler, J. & Jeleazcov, C. (2013). Evaluation of techniques for estimating the power spectral density of RR-intervals under paced respiration conditions. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 28(5), 481–486.
- Schillers Medilog Holter System. (2017). Zugriff am 27. Jänner 2017 unter [http://www.schiller.ch/sites/default/files/akeneo/13/2/5/2.500547\\_medilog\\_holter\\_system\\_pp\\_de\\_lq.pdf](http://www.schiller.ch/sites/default/files/akeneo/13/2/5/2.500547_medilog_holter_system_pp_de_lq.pdf)

- Seiler, S., Haugen, O. & Kuffel, E. (2007) Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 1366–1373.
- Shiogai, Y., Stefanovska, A. & McClintock, P. V. (2010). Nonlinear dynamics of cardiovascular ageing. *Physics Reports*, 488(2-3), 51-110.
- Snieder, H., van Doornen, L. J., Boomsma, D. I., Thayer, J. F. (2007). Sex differences and heritability of two indices of heart rate dynamics: a twin study. *Twin Research and Human Genetics*, 10(2), 364-372.
- Sookan, T. & McKune, A. J. (2012). Heart rate variability in physically active individuals: reliability and gender characteristics. *Cardiovascular Journal of Africa*, 23(2), 67-72.
- Stanley, J., Buchheit, M. & Peake, J. M. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 951–961.
- Stanley, J., Peake, J. M. & Buchheit, M. (2013). Consecutive days of cold water immersion: effects on cycling performance and heart rate variability. *European journal of applied physiology*, 2, 371–384.
- Stein, P. K., Barzilay, J. I., Chaves, P. H., Domitrovich, P. P. & Gottdiener, J. S. (2009). Heart rate variability and its changes over 5 years in older adults. *Age and Ageing*, 38(2), 212-218.
- Sugisaki, N., Okada, J. & Kanehisa, H., (2013). Intensity-level assessment of lower body plyometric exercises based on mechanical output of lower limb joints. *Journal of Sports Sciences*, 31, 894–906.
- Takagi, R., Fujita, N., Arakawa, T., Kawada, S., Ishii, N. & Miki, A. (2011). Influence of icing on muscle regeneration after crush injury to skeletal muscles in rats. *Journal of Applied Physiology*, 110(2), 382–388.
- Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart Rate Variability. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.

- Traxler, B. & Zinnburg, M. (2016). *Interpretation physiologischer und biologischer Parameter bei Anwendung von Kryotherapie nach erschöpfender Belastung*. Wien: Universität Wien, Institut für Sportwissenschaft.
- Tsuji, H., Venditti, F. J. Jr., Manders, E. S., Evans, J. C., Larson, M. G., Feldman, C. L. & Levy, D. (1996). Determinants of heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology*, 28(6), 1539-1546.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N. & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International journal of sports medicine*, 29, 539–544.
- Vaile, J., O'Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N. & Askew, C. D. (2010). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *British journal of sports medicine*, 45(10), 825-829.
- Vaz, M. S., Picanco, L. M. & Del Vecchio, F. B. (2014). Effects of different training amplitudes on heart rate and heart rate variability in young rowers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10, 2967–2972.
- Veqar, Z. (2013). Causes and management of delayed onset muscle soreness: A review. *Elixir Human Physiology*, 55, 13205-13211.
- Voss, A., Heitmann, A., Schroeder, R., Peters, A. & Perz, S. (2012). Short-term heart rate variability--age dependence in healthy subjects. *Physiological Measurement*, 33(8), 1289-1311.
- Wallace, B. J., Kernozek, T. W., White, J. M., Kline, D. E., Wright, G. A., Peng, H. T. & Huang, C. F. (2010). Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 207–212.
- Weise, F., Krell, D. & Brinkhoff, N. (1986). Acute alcohol ingestion reduces heart rate variability. *Drug and Alcohol Dependence*, 17, 89-91.
- Zhang, J. (2007). Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 30 (5), 374-379.



# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Auswirkungen von CWI auf das ANS (mod. n. Ihsan et al., 2016).....	16
Abb. 2: Aufbau eines Skelettmuskels (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <a href="http://www.leifiphysik.de/mechanik/kraft-und-masse-ortsfaktor/ausblick/muskelkraft">http://www.leifiphysik.de/mechanik/kraft-und-masse-ortsfaktor/ausblick/muskelkraft</a> ) ..	22
Abb. 3: Aufbau eines Sarkomers (Markworth, 2009, S. 32).....	23
Abb. 4: visual analogue scale (VAS) .....	26
Abb. 5: Sinusrhythmus (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <a href="http://www.hrv.cc/index.php/hrv-messung">http://www.hrv.cc/index.php/hrv-messung</a> ) .....	28
Abb. 6: Beat-to-Beat-Messung (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <a href="http://www.hrv.cc/">http://www.hrv.cc/</a> ) ....	29
Abb. 7: Peak-to-Peak-Messung (Zugriff am 20. Februar 2017 unter <a href="http://www.hrv.cc/">http://www.hrv.cc/</a> ) ..	30
Abb. 8: Ankle Hop (Sugisaki et al., 2013).....	36
Abb. 9: Zeitlicher Ablauf des Kontroll- bzw. Testlaufes (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016) .....	41
Abb. 10: Zeitlicher Ablauf der Aufwärmphase (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016) .....	43
Abb. 11: Zeitlicher Ablauf der Belastungsphase (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016).....	44
Abb. 12: Zeitlicher Ablauf der Regenerationsphase (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016) ..	45
Abb. 13: Wasserkanäle (links) und Kryokompressionshose (rechts) (Aquila Sports GmbH, 2017).....	46
Abb. 14: Kühleinheit (Aquila Sports GmbH, 2017) .....	47
Abb. 15: Positionierung der Elektroden des HRV-Rekorders .....	48
Abb. 16: Vergleich der Mittelwerte von DOMS beim Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) von der gemeinsamen Baseline zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs .....	56
Abb. 17: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen von DOMS zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs .....	57

Abb. 18: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der rMSSD zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe .....	59
Abb. 19: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der SDNN zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe .....	60
Abb. 20: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen des SKI zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten Baseline (0), nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h).....	61
Abb. 21: Vergleich der jeweiligen Mittelwerte des SKI zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten Baseline (0), nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h).....	62

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: SDNN gesunder Personen in 9 Dekaden.....	32
Tab. 2: Deskriptive Übersicht der Studienteilnehmer (mod. n. Traxler & Zinnburg, 2016)	39
Tab. 3: Vergleich von DOMS zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 und 96 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs; MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung .....	56
Tab. 4: Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte (DOMS) .....	58
Tab. 5: Vergleich der rMSSD zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe; MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung .....	59
Tab. 6: Vergleich der SDNN zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) in den Zeitspannen 02:00 bis 03:00 Uhr und 01:00 bis 05:00 Uhr der folgenden Nacht der jeweiligen Läufe; MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung .....	60
Tab. 7: Vergleich des SKI in Bezug auf die Baseline (0) in % zwischen Kontrolllauf (passiv) und Testlauf (Kryotherapie) zu den Zeitpunkten nach dem 1. Berglauf (1), 2. Berglauf (2), 3. Berglauf (3), 4. Berglauf (4) und 24 Stunden nach Abbruch des letzten Berglaufs (24h); MW=Mittelwert .....	62
Tab. 8: Tests der Innersubjekteffekte und Zwischensubjekteffekte (Ankle Hop) .....	63
Tab. 9: Vergleichswerte zu DOMS aus anderen Studien zu den Zeitpunkten 24 und 48 Stunden nach der Belastung; CWI=cold water immersion; PAS=passive Erholung .....	66



# Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	analysis of variance, Varianzanalyse
ANS	Autonomes Nervensystem
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMI	Body-Mass-Index
CK	Creatin Kinase
CMJ	Counter Movement Jump
CWI	cold water immersion, Eintauchen in Kaltwasser
D <sub>m</sub>	maximal radial displacement or deformation, maximale radiale Verschiebung bzw. Verformung
DOMS	delayed onset muscle soreness, Muskelkater
EIMD	exercise-induced muscle damage, trainingsbedingte Muskelschädigung
EKG	Elektrokardiographie
GLU	Glucose
GRAN	Granulozyten
HF	Herzfrequenz
HRV	Herzratenvariabilität
Hz	Hertz
LYM	Lymphozyten
M.	Musculus
MPQ	McGill Pain Questionnaire
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
ÖISM	Österreichisches Institut für Sportmedizin
pNN50	NN50 count divided by the total number of all NN intervals, Anteil der Intervalle mit mindestens 50 ms Abweichungen vom vorherigen Intervall
PVC	Polyvinylchlorid
rMSSD	root-mean square differences of successive R-R intervals, Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe der quadrierten Differenzen aller sukzessiven RR-Intervalle
RSA	Respiratorischen Sinusarrhythmie
SDANN	standard deviation of all R-R intervals in successive five-minute epochs, Standardabweichung des Mittelwerts der RR-Intervalle für alle Zeitfenster (5-Minuten-Abschnitte) der gesamten Aufzeichnung

SDNN	standard deviation of normal to normal R-R intervals, Standardabweichung aller RR-Intervalle
SDNN-i	mean of the standard deviations of all NN intervals for all 5-minute segments of the entire recording, Mittelwert der Standardabweichungen aller RR-Intervalle für alle Zeitfenster (5-Minuten-Abschnitte) der gesamten Aufzeichnung
SKI	Schnellkraftindex
SV	stroke volume, Schlagvolumen
T <sub>c</sub>	contraction time, Kontraktionszeit
T <sub>d</sub>	delay time, Verzögerungszeit
TMG	Tensiomyografie
TPU	Thermoplastischem Polyurethan
VAS	visual analogue scale
VO <sub>2</sub> max	Maximale Sauerstoffaufnahme
WBC	whole body cryotherapy white blood cells, Weiße Blutkörperchen

## Eidesstattliche Erklärung

Ich, Nora Sulan, erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht noch von anderen Personen vorgelegt.

Wien, Februar 2017

*Unterschrift*  
(Nora Sulan)