



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Anwendung von Wärme bzw. Kälte zur Beschleunigung
der Regeneration nach körperlicher Belastung –
ein systematischer Review“

verfasst von / submitted by

Nicolás Neumann

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

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

A 190 456 482

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

Lehramtstudium
UF Geographie & Wirtschaftskunde
UF Bewegung und Sport

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Meinen größten Dank, muss ich meiner Familie (Alexander, Roland, Elias etc.), insbesondere meinen Eltern entgegenbringen, ohne Mama und Papa wäre ich nicht der Mensch, der ich heute bin. Sie ermöglichten mir meine schulische Karriere, sind immer für mich da, unterstützen mich in allen Lebenslagen und aus diesem Grund, gebührt ihnen meine unendliche Dankbarkeit.

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan ermöglichte mir, dass ich die Diplomarbeit im Bereich meiner Interessen, der Trainingslehre und -wissenschaft verfassen durfte. Die Zusammenarbeit funktionierte gut und ich bin ihm für seine wertvollen Inputs dankbar.

Während der Endphase unterstütze mich auch meine Freundin Bernadette, die mich stets motivierte und mich mit lobenden Worten antrieb.

Schlussendlich, bedanke ich mich bei meinen engsten Freunden, mit denen ich viele Höhen und Tiefen während der Schul-, Studien- und Freizeit erlebte und die ebenfalls einen großen Anteil daran haben, dass ich nun kurz vor dem Abschluss meines Studiums stehe.

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Trainingsgestaltung, Trainingsplanung sowie die Vor- und Nachbereitung von Wettkämpfen oder wichtigen Spielen ist für die heutigen Sportler/innen immer wichtiger. In den letzten Jahrzehnten hat in vielen leistungssportlichen Disziplinen die Trainings- und Wettkampfhäufigkeit, sowie die Belastungsintensität bzw. der Belastungsumfang deutlich zugenommen. Damit kommt der Optimierung der Regeneration nach intensiven Trainings- und Wettkampfbeanspruchungen im Rahmen der Trainingssteuerung eine bedeutende Rolle zu. Mit Hilfe einer Wärme- oder Kältetherapie unterstützt der oder die Sportler/in die natürlichen Regenerationsprozesse des menschlichen Körpers.

Ziel: Das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, die Evidenz der Wirksamkeit von Wärme- und Kälteapplikationen zur Beschleunigung der Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit nach Trainings- und Wettkampfbeanspruchungen zu untersuchen.

Methodik: Die wissenschaftliche Fragestellung wird anhand einer systematischen Literaturanalyse aufgearbeitet. Studien, die nicht älter als zehn Jahre sind, wurden aus den Online-Datenbanken „PubMed“, „Medline“ und „Embase“ im Zuge diverser Auswahlkriterien („clinical trials“, „humans“, „adults: 19-44 years“, „10 years“) ausgewählt, zusammengefasst, analysiert etc. und zur Beantwortung der zuvor formulierten Fragestellungen herangezogen.

Ergebnisse: Die Anzahl der identifizierten Datensätze durch die Datenbanksuche ergab 127 Studien. Nachdem die Datensätze anhand der Titelangaben und des Screenings aussortiert wurden, blieben 25 Studien Volltextuntersuchung über. Letztendlich waren es elf Studien, die eingeschlossen wurden.

Konklusion: Die Interpretationen und Vergleiche der Studien lassen die Schlussfolgerung zu, dass es schwer ist, präzise Ergebnisse darzulegen. Unterschiedlichen Temperaturen und Längen der verwendeten Immersion, die Umgebungstemperatur vor dem Eintauchen, die unterschiedlichen Intensitäten und der Fitnessstand, der immer stark unter den Sporttreibenden variierte, erschwerte konkrete Aussagen über einen schnelleren Regenerationsprozess mit Wärme oder Kälte. In den Studien konnte jedoch eruiert werden, dass Formen der Thermotherapien sich nicht negativ auf die Erholungsphase auswirkt und durchaus die Möglichkeit bietet, die Mechanismen der Regenerationsphasen zu fördern und zu beschleunigen. Ein verminderter Stoffwechsel ist die wichtigste Wirkung von Kälte während der Sofortbehandlung, da er sekundäre Verletzungen begrenzt. Die passive Erholung, auch als Kontrollgruppe bezeichnet, war am wenigsten erfolgreich bei der Wiederherstellung der gemessenen physiologischen Parameter in den beschriebenen Studien.

Abstract

Background: The creation and planning of trainings as well as the preparation and follow-up process of competitions are becoming increasingly important for today's sportsmen and sportswomen. The frequency of training and competition has increased relating to performance sport disciplines, as well as the intensity and scope of exercise. Hence, the optimisation of the regeneration after intensive training and competition stresses becomes a more and more significant role with regards to training control. Sportspeople support the natural regeneration process of the human body by means of heat or cold therapy.

Aim: This work aims on identifying whether heat or cold application can support the regeneration of the exhausted body after high levels of physical exertion in order to recover the physical performance.

Methods: The scientific issue has been answered and reviewed academically on the basis of a systematic literature analysis. Studies from online-databases ("PubMed", "Medline" and "Embase") have been selected, summarized and analysed in the course of various selection criteria ("clinical trials", "humans", "adults: 19-44 years", "10 years"), and furthermore had an influence on the answer to the research questions posed.

Results: The number of identified data sets via the data base search has identified 127 studies. After the data sets have been sorted out on the basis of the range of titles and screenings, 25 full text investigations remained. Finally, eleven studies have been incorporated.

Conclusio: The diploma thesis' interpretations and comparisons of the studies lead to the conclusion that precise results cannot easily be stated. Different temperatures and lengths of the utilized immersion, the ambient temperature before plunging, as well as the different intensities and fitness states which showed a high variation among the sportspeople are aggravating circumstances for a concrete position about a fast regeneration process with heating and cooling. However, studies determined that forms of thermotherapy are not negatively affecting the period of recovery, even offering opportunities for supporting and accelerating the mechanisms of the recovery phase. During the immediate treatment, a decreased metabolism is seen as the most important effect of coldness, as it limits secondary violations. The passive recovery, also known as control group, was the least successful factor for the restoration of the measured physiological parameters in the described studies.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.2 Forschungsfragen der Arbeit	6
1.3 Gliederung der Arbeit	6
1.4 Regeneration und Erholung im Sport	7
1.4.1 Bedeutsamkeit der Regeneration	7
1.4.2 Externer Einfluss auf die Regeneration	8
1.4.3 Wichtige Aspekte einer schnellen Regeneration	9
1.4.4 Bedeutung des Aufwärmens für die Erholung	10
1.4.5 Temperatureffekte, Durchblutung und Ermüdung	11
1.4.6 Mechanismen der Muskelschädigung	12
1.4.7 Verfahren zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport	13
1.5 Überblick über momentanen Stand der Regenerationsmaßnahmen im Sport nach körperlicher Belastung	15
1.5.1 Formen für Regenerationsinterventionen der Kälte und Wärme	16
1.5.2 Formen für Regenerationsinterventionen in Form einer Immersion	18
1.5.3 Kalt- und Warm-/Heißwasserimmersionen	20
1.5.4 Aktive Erholung	21
1.5.5 Kryotherapie	22
1.5.6 Regenerationsverfahren und die Evidenz der Wirksamkeit	22
1.6 Präventive Trainingsstrategien	23
1.6.1 Pre-cooling	24
1.6.2 Ernährung	24
2. Methode	25
2.3. Ein- und Ausschlusskriterien	26
3. Ergebnisse der Studienauswahl – Darstellung mittels PRISMA	28
3.1 Zusammenfassung der Tabelle	29
3.2 Studien zur Kälte- und Wärmeregeneration	32
4. Diskussion	70
5. Resümee	80
6. Literatur	83
7. Abbildungsverzeichnis	87
8. Tabellenverzeichnis	87
9. Eidesstattliche Erklärung	89

1. Einleitung

Erst die Veränderung der Gleichgewichtszustände von Körperfunktionen, die durch körperliche Anstrengung oder Betätigung hervorgerufen wird, führt dazu, dass sich der Körper regenerieren muss. Hottenrott & Neumann (2017, S.43f.) nennt einige Modelle und Theorien bezüglich der Adaption eines Trainings. Der Begriff der Homöostase kennzeichnet sich dadurch aus, dass sich die Funktionssysteme in Körperruhe in einem dynamischen Gleichgewichtszustand befinden. Hegner (2006, S.93) spricht von einem idealen regulierten Gleichgewicht zwischen aufbauenden (anabolen) und abbauenden (katabolen) Prozessen.

Heterostase ist der gegenteilige Terminus und bezeichnet das Ungleichgewicht in den Körperfunktionen. Überträgt man dies auf den Sport so finden ständige Umstellungsreaktionen statt, da die kurzzeitigen Belastungsreize eines Trainings eine ständige Heterostase hervorruft. Das Superkompensationsmodell und Leistungs-Potenzial-Modell spielen in der Trainingswissenschaft- und -lehre eine bedeutende Rolle. Erstes ist nicht als Mechanismus, sondern als Zeitverlauf zu verstehen. Die Superkompensation gibt den Zeitverlauf in Bezug auf die Glykogenveränderungen in der Muskulatur während und nach Belastung wieder. Die Phase der Superkompensation tritt daher erst im Anschluss eine Erholungsphase ein und die Leistungsfähigkeit kann über das Ausgangsniveau verbessert werden. (Hottenrott & Neumann, 2017, S.45f.)

Zweiteres, auch PerPot genannt, wurde entwickelt, um die Modellierung von trainingsinduzierten Anpassungsprozessen zu beschreiben. Dieses Modell geht davon aus, dass die Trainingsreize sowohl abbauend (negativ) als auch aufbauend (positiv) sich auf die sportliche Leistungsfähigkeit auswirkt. Diese Wirkungen treten oft zeitverzögert auf und aus diesem Grund hat das PerPot-Modell Verzögerungsparameter inkludiert, um reelle Hinweise über positive oder negative Trainingseinflüsse liefern zu können. (Hottenrott & Neumann, 2017, S.47f.)

Das Ziel einer Regeneration im Sport ist eben die beschleunigte Wiederherstellung der psychophysischen Leistungsfähigkeit nach intensiven Trainings- und Wettkampfbelastungen. Der Bedarf der Regeneration unterscheidet sich zwischen Training und Wettkampf jedoch grundlegend, da die höhere Belastung bei einem Wettbewerb nicht mit der Belastung im Training zu vergleichen ist. Wie eine optimale Erholung aussieht, ist wissenschaftlich noch unstrittig bzw. nicht ausreichend belegt.

Die Bedeutung der Ernährung und Flüssigkeitszufuhr und Formen der Thermotherapien wirken sich positiv auf den Erholungsprozess aus. Auch eine Vielzahl von Aspekten, wie z.B. die konstitutionellen, physischen und psychischen Leistungsvoraussetzungen, beeinflusst die sportliche Leistung eines Sportlers oder Sportlerin. Die Trainingsziele der Athleten/innen unterscheiden sich oft grundlegend, da diese von der Leistungssteigerung und –optimierung im Wettkampfsport bis hin zur Fitness- und Gesundheitsförderung reichen können. (Hottenrott & Seidl, 2017, S.77)

Hottenrott & Seidl (2017, S.79f.) führen zudem an, dass Belastungsnormative zur Charakterisierung von Trainingseinheiten eine wichtige Rolle spielen. Der Belastungsumfang definiert die summierte Belastungseinwirkung über einen bestimmten Zeitraum und die Belastungsintensität beschreibt wie hoch und stark die Belastungsreize gesetzt werden. Ein weiterer Faktor ist die Belastungsdauer, die die gesamte Einwirkungsdauer einer Trainingsbelastung kennzeichnet. Auch die Belastungshäufigkeit, sprich, wie oft in einem definierten Trainingszeitraum trainiert wird. Das zeitliche Verhältnis von Belastungs- und Erholungsphasen innerhalb einer Trainingseinheit oder im Verlauf eines Wettbewerbes definiert die Belastungsdichte. Als letzten Punkt ist die Ausführung der Bewegung zu nennen. Diese kann langsam, explosiv, nieder- oder hochfrequent, rhythmisch, fließend etc. erfolgen. Hegner (2006, S.226) verdeutlicht, dass: „Sich während des Regenerationsprozesses der Organismus an die erhöhten Trainings- und Wettkampfansprüchen anpasst und die Erholungsphase genauso wichtig wie die Belastungsphase ist.“

Nachhaltige Leistungssteigerungen sind jedoch nur dann zu erreichen, wenn im Anschluss an die Belastungsphasen ausreichend Raum zur Erholung gewährleistet wird. Eine schnelle und effektive Erholung zur Vorbeugung von Überbeanspruchungen wird daher angesichts hoher Trainingsbelastungen immer wichtiger. (Hitzschke et al., 2016, S.1)

Hohe physische und psychische Beanspruchungen durch Trainings- und Wettkampfbelastungen führen zu Ermüdungszuständen und ohne ausreichenden Regeneration kann dies im schlimmsten Fall zu einer chronischen Überbelastung und zu einem Übertraining führen. Unterschieden wird zwischen zentrale und periphere Ermüdung. Es besteht durchaus eine Wechselwirkung und Friedrich (2011, S.37) spricht von einem psychophysischen Prozess. Ermüdungserscheinungen des Zentralnervensystems bzw. der Sinnesorgane kann sich negativ auf die körperliche Leistungsfähigkeit auswirken. Verminderte Entscheidungs-, Wahrnehmungs- und Konzentrationsfähigkeit sind Ermüdungssymptome einer zentralen Ermüdung und beeinträchtigen Muskeltätigkeiten, die in weiterer Folge zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit führen kann. (Friedrich, 2011, S.37f.)

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten wie Sportler/innen regenerieren können, jedoch ist der Wirksamkeitsnachweis nicht immer wissenschaftlich belegt. Wiewelhove & Ferrauti (2017, S.425f.) nennen eine Reihe von regenerationsfördernden Maßnahmen, welche die Athleten/innen oftmals anwenden. Anzuführen sind:

- Ernährung, Nahrungssupplemente und Flüssigkeitszufuhr
- Schlafmanagement und sog. „Power-Naps“
- Formen der aktiven Erholung und Hydrotherapie
- Wärme- und Kälteapplikationen
- Verschiedene Formen von Massagen mit und ohne Geräte (Blackroll)

Eine aktive Erholung kann eine moderate, dynamische und rein aerobe Aktivität großer Muskelgruppen, wie Jogging und Fahrradfahren, beinhalten. Stretching oder Mobilisierungstechniken mit dem Ziel der Wiederherstellung der Ruhedehnungsspannung des Muskels zählen ebenfalls zur aktiven Erholung. Wissenschaftliche Belege für die Wirksamkeit sind nicht überzeugend gegeben. Die schnellere und kurzfristige Laktatelimination und pH-Wert Regulation sind bei einer aktiven Erholung wirksam. (Wiewelhove & Ferrauti, 2017, S.426)

Kälte- und Wärmeapplikationen gewinnen nicht nur bei Hobbysportler/innen an Beliebtheit, sondern auch im Leistungssport, vor allem im Fußball ist die Anwendung von Kaltwasserimmersionen, Massagen und aktiver Erholung Teil des Trainings und Wettkampfes. Die Evidenz dieser Applikationen erweist sich jedoch noch immer als Forschungslücke. Explizite Ergebnisse sind schwierig zu gewinnen und auch die Anzahl der Studien über dieses Thema ist gering. Viele Autoren, der hier beschriebenen Studien, unter anderem Elias, Wyckelsma, Varley, Mckenna und Aughey (2013), Bastos et al. (2012) oder Vaile, Halson und Dawson (2008) bekräftigen, dass weitere Studien notwendig seien, um aussagekräftige Daten bezüglich des Regenerationsprozesses zu erhalten.

Die zuvor genannten Applikationen erfolgen meist durch Kaltwasser- und Warmwasserimmersionen, wobei die Dauer und Wassertemperatur variieren können.

Regelmäßige Erholungspausen, spielen eine enorm wichtige Rolle, die nicht unterschätzt werden darf. „Regenerative Maßnahmen wie beispielsweise Kälte oder Wärme finden vermehrt empirische Beachtung.“ (Wegmann & Meyer, 2013)

Die Bestrebung von Athleten/innen und Trainer/innen die Regenerationszeit nach intensiven Training- bzw. Wettkampfbelastungen zu beschleunigen hat im Laufe der Zeit zur Entwicklung und zum Einsatz unterschiedlicher Verfahren bezüglich der Regeneration geführt. Die

Wirksamkeit derer konnte aber nicht immer anhand wissenschaftlich exakter Verfahren überprüft werden. Das Ziel, die Belastungshäufigkeit, die Trainingsintensität oder den Belastungsumfang erhöhen zu können ist der Wunsch vieler Sportler/innen (Wiewelhove & Ferrauti, 2017). Die Bandbreite dieser Regenerationsverfahren ist groß und dazu zählen unter anderem Interventionen der Ernährung, die Anwendung aktiver Erholungsmaßnahmen und Massagen, ein effektives Schlafmanagement, Kompressionskleidung und auch Kälteapplikationen sowie Wärmeanwendungen, welche in dieser Arbeit näher beleuchtet werden sollen.

In der Trainingspraxis wenden die Athleten/innen sogenannte Kaltwasserimmersionen an, wobei es beim Ablauf dieses Verfahrens hinsichtlich der Dauer und Temperatur zu wesentlichen Unterschieden kommen kann. Energetische (LA-Elimination Substrattransport Glykogen-Gehalt), zirkulatorische (Venöser Rückstrom Lokaler Blutfluss), inflammatorische (Ödembildung), muskuläre und neuromuskuläre sowie psychovegetative Mechanismen werden als Wirkungsmechanismen, die zur beschleunigten Wiederherstellung führen, diskutiert (Wiewelhove & Ferrauti, 2017). Seit einigen Jahrzehnten ist die Anwendung der Wärme- und Kälteapplikation im Leistungs- und Freizeitsport bekannt und deshalb ist es erstaunlich, dass die Anzahl der wissenschaftlich sorgfältig geplanten und durchgeführten Untersuchungen in diesem Themenbereich sehr geringer ist.

Die Wirkungen der Kälte- und Wärmeapplikationen liefern oft unterschiedliche Befunde, da nicht jede Studie, die die genannten Regenerationsverfahren testet, auf dieselben Ergebnisse kommt und mittels diesem systematischen Review soll versucht werden, konkrete Aussagen zu diesem Forschungsgebiet formulieren zu können.

Der Studie von Vaile et al (2008, S.542f.) zufolge, gibt es sowohl bei Kaltwasserimmersion (CWI) als auch bei Kontrastwassertherapie (CWT) positive Auswirkungen bezüglich Wiederherstellungsmaßnahmen nach und zwischen körperlicher Belastung. Des Weiteren wird aber auch erwähnt, dass es in den Studien von Soultanakis, Nafpaktiitou und Mandaloufa (2015) und Rupp et al. (2012) nicht immer zu einem Leistungsvorteil kommt. Jedoch ist festzuhalten, dass die oben genannten Genesungsinterventionen in keinsten Weise als schädlich oder schmerzvoll empfunden worden sind.

Auch Machado et al (2016, S.503) schreibt, dass die Datenlage darauf hindeutet, dass CWI bei der Behandlung von Muskelkater effektiver sein kann als passive Erholung. Die Ergebnisse zeigten auch das Vorhandensein einer Dosis-Wirkungs-Beziehung, welche darauf hinweist,

dass CWI mit einer Wassertemperatur zwischen 11 und 15 ° C und einer Eintauchzeit von 11-15 min die besten Ergebnisse liefern kann.

Im Vergleich zu den zwei oben genannten Studien kommt jene von Soultanakis et al (2015, S.267) allerdings zu anderen Ergebnissen. Diese weist darauf hin, dass Formen der Erholung durch kühle (26,7 ° C) oder warme (30 ° C) Wasserimmersion die Geschwindigkeits- oder Schlagcharakteristik in einem 50-m-Freistil-Sprint nicht beeinflusst, selbst wenn häufig verwendete leistungsbezogene Determinanten wie Ruhe-Laktatwerte und wahrgenommene Anstrengung nicht optimal sind.

Müller-Wohlfahrt, Ueblacker und Hänsel (2010, S.83) halten fest, dass optimale Bedingungen geschaffen werden müssen, um nach einer Belastung die Ermüdungsfaktoren zu beseitigen. Nur so, können die muskulären Speicher wieder gefüllt, Abbauprozesse gestoppt und Reparaturprozesse eingeleitet werden.

Bislang fand das Wissensgebiet der Regeneration und Erholung im Vergleich zu trainingsmethodischen Faktoren der Belastungsgestaltung und -dosierung nicht ganz so große empirische und praktische Aufmerksamkeit. So sind im Vergleich dazu im sportwissenschaftlichen Zusammenhang zu den Themengebieten Belastung und Stress eine Vielzahl an Publikationen erschienen. Wohingegen die Forschung im Bereich der Erholung vergleichsweise weniger präsent ist. (Kellmann, 2002). Die anwachsenden auftretenden Signale mangelhafter Erholungsphasen und Überbeanspruchungssyndrome in verschiedenen Sportarten (Hitzschke et al., 2015, S.147) verdeutlichen immer mehr die Bedeutung von Erholung und Regeneration. So betonen auch Meeusen et al. (2013), dass erfolgreiches Training immer auf eine Balance zwischen dem aktuellen Beanspruchungszustand und adäquater Erholung beruhen muss. Ähnlich wie Beanspruchung stellt auch Erholung ein komplexes facettenreiches Konstrukt dar. So beinhaltet sie sowohl zeitliche Komponenten (Erholung während oder zwischen aufeinander folgenden Belastungen) als auch belastungs- und umweltspezifische Besonderheiten. (Meeusen, 2013)

Im Zuge der folgenden systematischen Übersichtsarbeit soll überprüft werden, inwieweit eine Wärme- und Kälteapplikation oder eine Kombination daraus, zu einer schnelleren Regeneration nach körperlicher Belastung bzw. einer Leistungssteigerung, beiträgt.

1.2 Forschungsfragen der Arbeit

1. Welchen Beitrag können Regenerationsmaßnahmen in Bezug auf Muskelschädigungsparameter und Leistungssteigerung leisten und welche Auswirkungen haben Kälte- und Wärmeinterventionen auf die psychophysische Leistungsfähigkeit nach intensiven Trainings- und Wettkampfbelastungen?
2. Wie können gezielte Regenerationsinterventionen eingesetzt werden und welche Relevanz haben die Begriffe „Warmwasser- und Kaltwasserimmersion“ und „Kontrastwasserimmersion“ in genannter Therapie?
3. Gibt es einen Unterschied bezüglich der Anwendung von Wärme als Beschleunigung zur Regeneration im Vergleich zur Kältetherapie nach körperlicher Belastung?

1.3 Gliederung der Arbeit

Der Aufbau dieser Diplomarbeit gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Abschnitt geht es darum, wie sich der Begriff Regeneration im Sport definiert, welche Formen der Erholung üblich sind und wie sie angewendet werden. Der zweite Teil der Arbeit handelt von der Beschreibung, Analyse und Interpretation zuvor ausgewählter Studien, die am Ende einen maßgeblichen Beitrag leisten, um die in Kapitel 1 verfassten Fragestellungen, zu beantworten.

Nachdem in Kapitel 1 die Hintergründe für die Verfassung der Arbeit niedergeschrieben und die Fragestellungen ausformuliert wurden, konnte mit Kapitel 2 begonnen werden.

Anhand theoretischer Grundlagen wird ein Überblick über die „Anwendung von Wärme und Kälte als Beschleunigung der Regeneration nach körperlicher Belastung“ gegeben. Die Thematik der Erholung wird detailliert erläutert und einige wesentliche Aspekte aufgegriffen. Die Muskelschädigung und die damit verbundenen Verfahren, wie diese gemessen werden können, sind hier zu nennen. Intensive körperliche Belastung hat oft kleine Schädigungen der Faserstrukturen im Muskel zur Folge und diese müssen sich wieder erholen. Ein weiterer Unterpunkt befasst sich wie diese Muskelschädigungen behandelt werden können und welche Regenerationsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Formen der Immersionen und welchen Einfluss sie auf den Regenerationsprozess der Sportler/innen haben wird aufgegriffen. Die Kraft der Kälte und die Wirkung der Wärme spielen hier eine wichtige Rolle.

Im anschließenden zweiten Kapitel wird die Methodik bezüglich der Auswahl der vorliegenden Studien beschrieben. Die Beschreibung wie bei der Literatursuche vorgegangen wurde ist in diesem Teil der Arbeit näher erläutert.

Das dritte Kapitel sind die Ergebnisse. Dazu zählen die exakte Auswahl der Studien, deren Beschreibung und die Tabelle der ausgewählten Studien. Die Analyse, Vergleiche, Interpretation und Diskussion der Ergebnisse ist ebenfalls ein wesentlicher Teil und wird in diesem Abschnitt behandelt.

Letztendlich folgt ein Endresümee, welches die Fragestellungen der Arbeit nochmals aufgreift und beantwortet.

1.4 Regeneration und Erholung im Sport

In den letzten Jahrzehnten sind in vielen Disziplinen des Leistungs- und Freizeitsports sowohl der Trainingsumfang und die Trainingsdichte, die Wettkampfhäufigkeit und die Leistungsdichte, als auch der mediale und soziale Druck enorm gestiegen. Die Regeneration ist in ihrem Gesamtgefüge ein bis heute unzureichend erforschtes Phänomen. Die Komplexität aus unterschiedlichen zeitlichen Dimensionen als auch verschiedensten belastungsspezifischen Besonderheiten machte es bislang schwer, dieses Thema wissenschaftlich ausreichend aufzuarbeiten. (Wiewelhove & Ferrauti, 2017, S.421f.)

1.4.1 Bedeutsamkeit der Regeneration

Ein Training mit speziellen Trainingsinhalten bedarf einer besonderen Regeneration. Dies gilt zum Beispiel für das Krafttraining, welches häufig aus besonders intensiven Trainingsformen besteht. Die daraus folgenden Muskelschmerzen, Funktionseinschränkungen und Leistungseinbußen sind noch 48 bis 72 Stunden nach Trainingsende messbar. (Wiewelhove & Ferrauti, 2017, S.421f.) Diese exzentrischen Belastungen rufen Muskeltraumata hervor, da die Muskelfasern entgegen der haltenden Kontraktionskraft in die Länge gezogen werden (Proske & Morgan, 2001).

Der Regenerationsbedarf nach realen Wettkämpfen steigt in zahlreichen Sportarten aufgrund der hohen körperlichen sowie psychischen Beanspruchung an. Dies ist besonders während eines Turniers mit mehreren aufeinanderfolgenden Wettkämpfen der Fall. (Wiewelhove & Ferrauti, 2017, S.422)

Um auch die Trainings- und Wettkampfleistung zu maximieren, sollte die Zeit für die psychophysischen Wiederherstellung minimiert werden. Der Regenerationsprozess bezieht sich auf die Wiederherstellung der physiologischen und psychologischen Körperfunktionen, die es den Athleten ermöglichen, zu ihrem Vorermüdungszustand und Leistungsniveau zurückzukehren. Bei vielen sportlichen Aktivitäten sind die Athleten aufgrund der Gestaltung von Wettkämpfen gezwungen, innerhalb kurzer Zeit wiederholt Höchstleistungen zu erbringen. Im Judo und im Schwimmen beispielsweise müssen die Teilnehmer oft mehrmals am Tag Kämpfe, Vorrunden bzw. Vorläufe und Zwischenrunden absolvieren mit Erholungszeiten, die manchmal unter 30 Minuten liegen. In anderen Disziplinen findet die Organisation von Turnieren oder Qualifikationsläufen über einen längeren Zeitraum statt, der sich bis zu mehreren Wochen erstrecken kann. So muss beispielsweise der Gewinner eines Tennis-Grand-Slam 7 Spiele gewinnen, während die besten Teams während der Fußball-WM über einen Monat hinweg etwa 2 Spiele pro Woche spielen. Logischerweise spielt die Erholung bei diesen Sportarten eine wesentliche Rolle, zumal die schwierigsten Ereignisse in der Regel gegen Ende dieser Wettkämpfe ausgetragen werden. (Hausswirth & Mujika, 2013, S.34)

In der Sportpsychologie befassen sich nur wenige Studien direkt mit dem Nutzen der Genesung, einem Thema, das hauptsächlich mit der Physiologie verbunden ist. Der Begriff "Genesung" wird hauptsächlich in der Sportpsychologie verwendet, um die Genesung nach einer Verletzung anzuzeigen, oder von den Athleten selbst, um Tage oder Ruhezeiten anzugeben. (Hausswirth & Mujika, 2013, S.43)

„Auch im sportpsychologischen Kontext sind zu den Themen Stress und Belastung eine Vielzahl an Publikationen veröffentlicht, die Erholungsforschung ist derzeit jedoch unterrepräsentiert oder fokussiert eher auf die physische Erholung und deren aktive und passive Regenerationsstrategien“ (Kellmann, 2002).

Erholung wird mittlerweile als ein facettenreiches Phänomen angesehen, das sowohl zeitliche Komponenten (Erholung während oder zwischen aufeinander folgenden Belastungen) als auch belastungs-, adressaten- und umweltspezifische Besonderheiten aufweist. (Hitzschke et al., 2016, S.213)

1.4.2 Externer Einfluss auf die Regeneration

Sportliche Wettkämpfe unter extremen Umweltbedingungen sind mittlerweile üblich und werden mit einer ständig wachsenden Liste von extremen Herausforderungen ergänzt. Neben Temperatur- und Höhenschwankungen beeinflussen auch andere Umweltfaktoren die Leistung,

wie beispielsweise die Luftverschmutzung bei den Olympischen Spielen 1984 in Los Angeles. Infolgedessen haben Athleten und Sportverbände erhebliche Investitionen getätigt, um sich umfassend auf die erwarteten und sogar unerwarteten Umweltbedingungen vorzubereiten. (Jeffreys & Moody, 2016, S.519)

Häufig treten Umweltstressoren in Kombination mit z.B. Höhe, Kälte oder Wärme/Feuchtigkeit und Luftverschmutzung auf. Eine physiologische Reaktion entsteht, wenn sensorische Informationen den Hypothalamus von mehreren Quellen aus erreichen, einschließlich der inneren Organe, der Haut und des Rückenmarks. Infolgedessen gehören akute und chronische Anpassungen der Durchblutung, der Beatmung, des Herzzeitvolumens und der Schweißproduktion zu den typischen Effekten, die für die Homöostase (Aufrechterhaltung eines Gleichgewichtszustandes) und letztlich für das Überleben erforderlich sind. Jedes Ereignis kann zu einer extremen Herausforderung werden, was zum Teil auf die Umgebungsbedingungen zurückzuführen ist. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor im Sport unter erschwerten Umweltbedingungen ist jedoch die körperliche Verfassung und die gezielte Vorbereitung des Athleten. Die Erholung nach dem Training und der Leistung kann durch Umgebungsbedingungen beeinträchtigt werden, z. B. durch einen Schlafmangel in der Höhe, bei Hitze oder Kälte. (Jeffreys & Moody, 2016, S.520)

1.4.3 Wichtige Aspekte einer schnellen Regeneration

Um also eine rasche Erholung zu ermöglichen, muss darauf geachtet werden, die Ermüdungsfaktoren zu beseitigen. Dies gelingt dadurch, wenn Verhältnisse geschaffen werden, die die muskulären Speicher wieder auffüllen, Abbauprozesse stoppen und Reparaturprozesse einleiten. ATP- und Kreatinphosphatspeicher können zeitnah und relativ rasch mit wenig Aufwand gefüllt werden. Nach sportlicher Tätigkeit ist es wichtig, dass die Sauerstoffaufnahme des Muskels noch kurze Zeit erhöht bleibt. Ein Erfordernis hierfür ist, dass nach körperlicher Anstrengung die Muskeldurchblutung einen längeren Zeitraum ebenfalls erhöht bleibt. Es gibt Faktoren, die das „automatisch“ gewährleisten, da nach Belastung interstitiellen (in den Zwischenräumen liegend) Konzentrationen von Laktat und Protonen des Energiestoffwechsels erhöht sind. (Müller-Wohlfahrt et al., 2014, S.83)

Um die Durchblutung des Muskels hoch zu halten und die Regenerationsphase zu unterstützen ist neben einer guten Ernährung auch die Erholungsphase in Form von Wärme- oder Kältetherapie nach einem Training sinnvoll. Erst wenn der Körper ausreichend erholt ist, können neue Belastungsreize gesetzt werden. Unterbricht man den Erholungsprozess mit weiterer sportlicher Anstrengung, werden die knappen Ressourcen verbraucht und dies

verlangsamt die Wiederherstellung der optimalen, muskulären Leistungsfähigkeit. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.83)

Die Fähigkeit des Einzelnen, immer wieder kurze, maximale Anstrengungen mit kurzen Erholungszeiten zu erbringen, ist eine wichtige Voraussetzung für die Fitness und Leistungs- bzw. Wettkampffähigkeit von Teamsportler/innen. Die Verbesserung der Wiederholungsfähigkeit, so schnell wie möglich Trainingsreize zu setzen, ist für viele Sportarten zu einem Schwerpunkt des Trainings und der Rehabilitation geworden. (McGawley & Bishop, 2006)

Wichtig für eine schnelle Erholung beginnt bereits noch vor der körperlichen Belastung. Das Aufwärmen ist ein essentieller Bestandteil, um Muskelschäden vorzubeugen und zu minimieren. Je geringer diese sind, desto schneller regeneriert der Körper und umso früher können neue Belastungsreize gesetzt werden. Die Regeneration für Khamwong, Paungmali, Pirunsan und Joseph (2015) beginnt schon vor der Belastung. Die Verwendung einer Sauna zur Erwärmung des gesamten Körpers hat viel Potenzial für die Muskelregeneration. So erwärmt ein Saunagang vor dem Sport die Muskeln im Allgemeinen und bereitet die Muskeln auf die Prävention von EIMD-Symptomen vor. Geschieht dies, so reduziert sich die Gefahr einen starken Muskelkater zu erleiden und die Erholungszeit eines Sportlers/in verkürzt sich. Dieses Ergebnis erzielte Khamwong et al. (2015) bei insgesamt 28 Probanden, die zufällig in eine Saunagruppe (n = 14) und Kontrollgruppe (n = 14) unterteilt wurden. Vor der exzentrischen Bewegung des Handgelenksstreckers mussten die Testpersonen einen Saunagang absolvieren. Die exzentrischen Übungen wurden am nicht dominanten Arm mit einem isokinetischen Dynamometer durchgeführt.

1.4.4 Bedeutung des Aufwärmens für die Erholung

Als Verletzungsprophylaxe, also um Verletzungen zu verhindern und die Leistung zu optimieren, sollte das Aufwärmen einen essentiellen Teil vor der Belastung einnehmen. Der Muskel und der Organismus werden auf die bevorstehende Beanspruchung vorbereitet und es gibt eine passive und aktive Aufwärmung:

- Passive Methoden: Baden, Saunieren, Kalt- oder Warmwasserimmersionen etc.
- Aktive Methoden: durch Muskelkontraktionen wird das Aufwärmen eingeleitet (Müller-Wohlfahrt et al., 2014, S.77)

Die eben genannten Methoden dienen nicht nur dazu, dass der oder die Sportler/in optimal auf die Belastung eingestellt ist, sondern werden immer öfters auch als „cool down“ eingesetzt. In der Literatur wird es auch oft als „Abwärmen“ bezeichnet, welches den Erholungsprozess eines oder einer Athleten/in einleitet (Müller-Wohlfahrt, 2014)

Müller-Wohlfahrt et al. (2014) vertreten die Meinung: „Das Aufwärmen verfolgt zunächst das primäre Ziel, einen optimalen leistungspositiven Vorstartzustand zu erzeugen. Deswegen sind die Inhalte des Aufwärmens auch stark an die Zielsetzung gebunden.“ Betrachtet man ein Aufwärmprogramm im Fußball, so kann dieses nach Müller-Wohlfahrt (2014) in drei Phasen unterteilt werden:

- Phase 1: Laufen und Bewegen mit moderater Intensität
- Phase 2: Spezifische Vorbereitung für fußballtypische Bewegungsabläufe wichtiger Muskeln und Gelenke
- Phase 3: Vorbereiten aller wichtigen fußballspezifischen Bewegungsabläufe

1.4.5 Temperatureffekte, Durchblutung und Ermüdung

Temperatureffekte

Die Stoffwechselaktivität erhöht sich allein durch die Temperaturerhöhung im Muskel und dies geschieht zum Beispiel bei einem Saunagang und die Erklärung dafür bietet die Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel. „Diese besagt, je höher die Temperatur, desto schneller verlaufen chemische Reaktionen ab und ist für die meisten chemischen und physiologischen Reaktionen anwendbar. Durch die temperaturbedingte Rechtsverschiebung (von 33°C - 37°C beim Saunieren) der Sauerstoffbindungskurve wird die Sauerstoffversorgung der Muskulatur erleichtert.“ (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.77f.).

Durchblutung

Unmittelbar nach Beginn körperlicher Belastung steigt die Durchblutung an und die Muskeltemperatur ist anfangs noch niedriger als die Kerntemperatur, da der Muskel erst durch das einströmende Blut erwärmt wird. „Dies hat zur Folge, dass nach kurzer Zeit die Muskeltemperatur die Kerntemperatur übersteigt und dadurch den Körperkern wärmt“ (Grassi et al., 2003). Durch die muskuläre Aktivität werden Stoffwechselprozesse stimuliert, die zur Erhöhung der Durchblutung führen. Infolgedessen verbessert sich die Versorgung des Muskels und der aerobe Stoffwechsel wird aktiviert. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.78)

Ermüdung

Für Friedrich (2014, S.27) nimmt die Ermüdung im Sport einen relevanten Part ein und das Wissen über die Ermüdung ist besonders wichtig, da sie gleichbedeutend mit dem Verlust der Leistung eines/r Athleten/in ist. Dieser Leistungsverlust sollte so spät als möglich einsetzen und relativ schwach ausfallen, um die Regenerationszeit kurz zu halten.

Müller-Wohlfahrt (2014, S.79) unterscheidet zwei Arten von Ermüdung:

- „Ermüdung als Zeitpunkt, zu dem eine geforderte Leistung nicht mehr erbracht werden kann und
- Ermüdung als Prozess, der mit Belastungsbeginn startet und mit der Zeit dazu führt, dass eine Leistung nicht mehr erbracht werden kann“

Unabhängig von dieser Unterscheidung wird noch zwischen zentraler und peripherer Ermüdung differenziert:

- „Zentrale Ermüdung: Diese umfasst Prozesse, die im ZNS bis hin zum Motoneuron (ausführende Nervenzellen) ablaufen.
- Periphere Ermüdung: Diese bezieht sich auf muskuläre Prozesse.“

Die Mechanismen, die zur Ermüdung führen, sind von der Belastungsart, -intensität und -dauer abhängig. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.79)

1.4.6 Mechanismen der Muskelschädigung

Durch Quetschung, Zug/Überdehnung oder Zertrümmerung/Riss kommt es bei Sportler/innen immer wieder zu leichten bzw. schweren Verletzungen. Vor allem Kontusionen und Zugbelastungen führen bei aktiver Kontraktion der Muskulatur zu Muskelverletzungen. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.106)

Bezogen auf die in dieser Arbeit beschriebenen Studien, war das Muskelkaterrating ein wichtiger Parameter für die Regenerationsphase der Athleten/innen. Anhand der „Borg-Skala“ bewerteten die Probanden wie sich die wahrgenommene körperliche Belastung auf ihren Körper auswirkte.

Der Muskelkater, auch „Delayed-Onset Muscle Soreness“ genannt, entsteht oftmals im untrainierten Zustand. „Durch dynamisch-negative, exzentrische Kontraktionen bei ungewohnten Abbremsungen. Bei den Sportarten, die viele Stopp- und Antrittvorgänge verlangen, wie im Fußball, Tennis, Kraftsport etc., kommt es häufiger zu einem Muskelkater als bei Laufdisziplinen“ (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.155).

Bei Sportler/innen, die gut trainiert sind und ein vielseitiges Training haben, wird ein Muskelkater nur bei besonders starken Belastungen (Wettkämpfe, Verlängerungen etc.) auftreten. Hingegen bei Hobbysportler/innen tritt er durchaus öfters auf, da die Trainingsbelastung oft unverändert bleibt und bei einer Umstellung auf neue Übungen ist deren Körper nicht vorbereitet. Dies führt dazu, dass die beanspruchten Muskelgruppen einen „Muskelkater“ erleiden, genauer gesagt, sind es Sarkomereinrisse einzelner Muskelfibrillen im Bereich der Z-Scheiben, die schmerzen. (Fridén, Sjöström und Ekblom, 1983)

Die Beschwerden eines Muskelkaters treten nicht sofort nach der Belastung auf, sondern frühestens erst einige Stunden danach. Die Schmerzen eines Muskelkaters sind innerhalb der ersten drei Tage am schmerzvollsten und isometrische Kontraktionen sind besonders davon betroffen.

„Primäre Schädigungen an den Muskelfibrillen werden nicht schmerzhaft bemerkt, da Schmerznervenendigungen nur extrazellulär im umgebenden Bindegewebe liegen. Erst durch Sekundärreaktionen, Autolyse (Selbstauflösung abgestorbener Körperzellen durch Enzyme) und Abbau der zerstörten Faserstrukturen sowie sekundäre Ödeme, kommt es zu Schmerzen.“ (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.155)

Müller-Wohlfahrt et al. (2014) vertreten die Meinung, dass die Schmerzreduktion bei einem Muskelkater milde durchblutungsfördernde Maßnahmen sowie lockeres Training unter Vermeidung jeglicher Kraftbelastung, Wärmebehandlungen, vorsichtiges passives Dehnen sowie die Einnahme nicht stereoidealer Antiphlogistika die Symptome lindern können. Die beiden erstgenannten Methoden werden im Kapitel 2 noch näher erläutert.

1.4.7 Verfahren zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport

Im sportwissenschaftlichen Kontext stehen unterschiedliche Instrumente zur objektiven, reliablen und validen Messung der erlebten psychophysischen Befindlichkeit zur Verfügung. Anzuführen sind dabei vor allem die „*Borg's Rating of Perceived Exertion* und die *visuelle Analogskala zum Muskelschmerzempfinden und Muskelkater*“ (Delayed-Onset Muscle Soreness, DOMS) (Hitzschke et al., 2016, S.213). Beide Verfahren kamen auch in den Studien, die in dieser Arbeit analysiert wurden, zum Einsatz.

Die RPE (Borg, 1998) ist eine Single-Item-Skala zur Erfassung der Trainingsintensität und der erlebten Beanspruchung. Es handelt sich dabei um eine Skalierung, die von 6 bis 20 geht und die Sportler/innen können zusätzlich verbal zwischen „sehr sehr leicht“ bis „sehr sehr schwer“ entscheiden. (Hitzschke et al., 2016, S.214)

Scherr et al. (2013) kamen mittels einer größeren Kohortenstudie (N = 2560) zum Schluss, dass die RPE zuverlässige Belastungsintensitäten unabhängig von Geschlecht, Alter und Art der abgeschlossenen Belastung abbilden kann. Einige Autoren wie Kellmann oder Kenttä & Hassmén (1998) kritisieren diese „einfache“ Methode zur Bestimmung der ausgeführten Anstrengung und durch das subjektive Empfinden der Athleten/innen besteht die Gefahr, dass vermehrt Messfehler auftreten können.

Die DOMS bildet Muskelschmerzempfinden und Muskelkater ab und setzt sich aus einer 100 mm langen Linie zusammen, die mit den Extrempolen „kein Schmerz“ bis „extremer Schmerz“ skaliert ist. (Hitzschke et al., 2016, S.214) Aufgrund dessen, ist die DOMS sehr praktikabel in experimentellen Studien und wird häufig angewendet, um die Intensität von Muskelschmerzen zu erfassen (Cleather & Guthrie, 2007). Auch Wiewelhove und Ferrauti (2017, S.423) führen an, dass sich aufgrund der einfachen Erfassung und der hohen Praxisrelevanz die Quantifizierung von Muskelschmerzen auf einer visuellen Analogskala bewährt haben. Es muss jedoch erwähnt werden, dass die DOMS nur den spezifischen Bereich des Muskelschmerzempfindens abdeckt und nicht in der Lage ist, auch die Multidimensionalität von Belastung abzubilden.

Hitzschke et al. (2016) fassen letztendlich zusammen, dass die Verwendung dieser oben genannten psychometrischer Verfahren eine objektive, reliable und valide Hilfestellung zur Erfassung von Erholungs- und Beanspruchungszuständen sein kann.

Auch Laborwerte, wie zum Beispiel die Creatinkinase, besitzen einen hohen Standardisierungsgrad von Materialgewinnung und gewährleisten Objektivität und Reliabilität. Die Sensitivität der Parameter variiert je nach Belastung und Intensität der körperlichen Anstrengung und unterscheidet sich von Sportart zu Sportart. (Wiewelhove & Ferrauti, 2017, S.424) In den hier beschriebenen und analysierten Studien taucht der Counter Movement Jump (CMJ) immer wieder auf und auch Wiewelhove und Ferrauti (2017, S.424f.) weisen darauf hin, dass „der CMJ in zahlreichen Regenerationsstudien zur Regenerationsdiagnostik herangezogen wurde, da diese für die Athleten/innen wenig belastend sind und weder mit dem Trainings- noch mit dem Erholungsprozess interferieren.“

1.5 Überblick über momentanen Stand der Regenerationsmaßnahmen im Sport nach körperlicher Belastung

Regenerationsmechanismen und deren Zeitverlauf

Kenntnisse über die unterschiedlichen Phasen des Regenerationsprozesses sind Voraussetzungen, um die Muskelregeneration zu verstehen. Oft laufen diese nach einem zyklischen Grundmuster ab, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Jedoch muss beachtet werden, dass unterschiedliche Schädigungsursachen zu Modulationen der Prozesse führt. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.109)

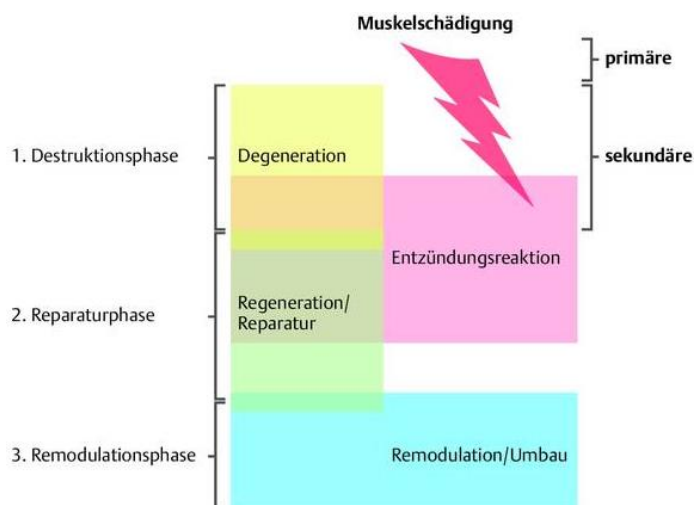


Abbildung 1: Phasen der Regeneration nach Müller-Wohlfahrt et al. (2014, S.109f.)

Destruktionsphase: Zu Beginn kommt es zu einer Destruktionsphase, die durch einen Einriss oder Riss von Gewebestrukturen erkennbar ist und dies kann von einzelnen intrazellulären Filamenten bis hin zur Komplettruptur des gesamten Muskels reichen. Im Fall der hier beschriebenen Studien, handelte es sich um mögliche kleine Einrisse

einzelner intrazelluläre Filamente, die verantwortlich für den Muskelkater der Probanden/innen war und durch die Regenerationsmaßnahmen wurde versucht, diese schnellstmöglich wieder zu heilen. In dieser Phase spielt die Nekrose, also das Absterben von Zellen, eine essentielle Rolle. Die geschädigten Fasern und Zellen gehen durch diesen Vorgang zugrunde und somit entstehen die Muskelverletzungen in zwei Phasen. Zum einen die primäre, die eigentliche Verletzung und zum anderen die sekundäre, die Schädigung durch die Reaktion auf die primäre Verletzung. Grundlage für die Reduktion des Verletzungsausmaßes ist die zweite Phase. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.109)

Reparaturphase: Diese setzt fließend ein und kennzeichnet sich durch eine Phagozytose des zerstörten zellulären und extrazellulären Materials. Das bedeutet, Makrophagen wandern ins Gewebe ein und es kommt zu einer Reparatur bzw. Neubildung von Muskelfasern. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.109)

Remodulationsphase: „Hier passiert ein systematischer Umbau des Gewebes mit einer Retraktion (Schrumpfung, Verkürzung) und Reorganisation des Narbengewebes und einer Wiederherstellung der funktionellen Kapazität des Muskelgewebes.“ (Järvinen et al. 2007)

Trainings- und Wettkampfnachbereitung

Die Nachbereitung einer Belastung spielt genauso eine große Rolle wie die Vorbereitung einer anstehenden intensiven körperlichen Anstrengung. Für Steinmann & Allwang (2008, S.68f.) startet die sog. „Cool-down“-Phase mit standardisierten, aktiven Interventionen, die im Anschluss durch passive Maßnahmen ergänzt werden können. Unter den aktiven Möglichkeiten der Nachbereitung verstehen sie das Auslaufen, dynamisches Dehnen und Mobilisationsübungen. Immersionsbehandlungen, Sauna, Massagen etc. treiben die Regeneration voran und sollen dabei helfen, den Körper auf kommende Trainingseinheiten vorzubereiten.

In der Literatur von Steinmann & Allwang (2008, S.68f.) wird zudem ergänzt, dass viele Athleten/innen das Abwärmen in der Bewegungsform ausführen, in der er/sie sich zuletzt belastet hat, d.h. Schwimmer/innen schwimmen aus, Radfahrer/innen radeln aus, Ballsportler/innen laufen aus etc.. Die Intensität dieser Abwärmphase zw. aktiver Erholung wird bei niedriger Intensität ausgeführt und dauert rund zehn bis 15 Minuten. Durch das langsame Abwärmen senkt die Muskulatur ihren hohen Arbeitstonus und die Durchblutungsregulation trägt dazu bei, dass der Stoffwechsel Substanzen wie Laktat schneller abbaut. (Steinmann & Allwang, 2008, S.69)

1.5.1 Formen für Regenerationsinterventionen der Kälte und Wärme

Die Kraft der Kälte und Wärme

In der Literatur wird oft von der Thermo- und Kryotherapie gesprochen und dabei handelt es sich um thermische Verfahren einer Wärme- und Kältetherapie. Zu den Wirkungsmechanismen zählen:

- neurophysiologische Aspekte: die Temperaturrezeptoren der Haut nehmen Wärme und Kälte wahr und leiten es an das Gehirn weiter
- vasomotorische Effekte: ein Wärmereiz führt zu einer Blutgefäßerweiterung - ein Kältereiz zu einer Blutgefäßverengung und nach der Anwendung kommt es ebenfalls zu einer Blutgefäßerweiterung

- metabolische Auswirkungen: metabolische Prozesse werden durch Kälte verlangsamt und durch Wärme beschleunigt

(Timmermann & Steubl, 2009, S.88)

„Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsweisen wird die Wärmebehandlung vorrangig in der rehabilitativen Phase zur Verbesserung entsprechender Gewebe oder Organismen bei chronischen, degenerativen Erkrankungen und zur Wundbehandlung eingesetzt“ (Zimmermann & Steubl, 2009, S.88). Dampf, Infrarot, Wärmepackungen, Warmwasser etc. sind Interventionen, die man der Thermotherapie zuordnet.

Die Kältetherapie hingegen, wird in erster Linie bei akut entzündlichen Erkrankungen und unmittelbar nach einer intensiven Belastung angewendet. Besonders Kältekammer, Eispackungen, Kaltwasser etc. sind für die Kryotherapie vorgesehen. (Zimmermann & Steubl, 2009, S.88)

Hof und De Jong (2018, S.120f.) führen weiterhin an, dass Sportler/innen nach anstrengendem Training ein Eisbad in Anspruch nehmen, um sich schneller zu regenerieren. Nach harten Trainingseinheiten, Spielen oder Wettkämpfen produzieren die Muskeln der Athleten/innen vor allem Laktat, das längere Zeit im Körper verweilen kann. Darüber hinaus, tragen intensive körperliche Tätigkeiten dazu bei, dass mikroskopisch kleine Schädigungen der Muskeln entstehen. Ziel ist es, dieses Laktat so schnell wie möglich abzubauen und dem Körper eine Erholungsphase zu gönnen, um ohne Verzögerung erneut umfangreiche Belastungen starten zu können. Hydrotherapie, wie das Sitzen in einem Eisbad, beschleunigt den Abtransport von Abfallprodukten im Körper (Hof und De Jong, 2018, S.121). Laut Hof und de Jong (2018, S.121) belegen Studien, dass die Effekte eines kalten Bades oder warmer und kalter Wechselbäder die Muskeln der Sporttreibenden am nächsten Tag weniger steif werden lassen. Blutgefäße verengen sich während des Eisbades und sobald die Sportler/innen das Eisbad verlassen, setzt eine verstärkte Durchblutung ein, die die Regeneration fördert.

Folgende Tabelle stellt die möglichen Indikationen für die Kälte- und Wärmeanwendung dar.

Tabelle a: Übersicht über die Wirkung von Wärme und Kälte

Erkrankung	Wärmetherapie	Kältetherapie
Degenerative (durch Verschleiß) und entzündliche Gelenk- und Wirbelsäulenerkrankungen	chronisch und akut	akut

Verletzungen und Operationen am Stütz- und Bewegungs- apparat	postakut	akut
Weichteilrheumatismus (Tendinosen, Periostosen)	postakut	akut
Durchblutungsstörungen	x	
Muskelverhärtung/Muskelkater	x	

(Quelle: mod. n. Zimmermann & Steubl, 2009, S.89)

1.5.2 Formen für Regenerationsinterventionen in Form einer Immersion

Die Regenerationsphase in einem Wasserbecken besteht darin, dass sich ein Teil des Körpers oder der ganze Körper im Wasser befindet. Die wissenschaftliche Literatur beschreibt vier Hauptmethoden des Eintauchens, die sich je nach verwendeter Wassertemperatur unterscheiden:

- thermoneutrales Eintauchen zwischen 15°C und 36°C (WI)
- Warmwasser-Eintauchen >36°C (HWI)
- Kaltwasser-Eintauchen <15°C (CWI)
- Kontrastwassertemperatur (CWT), die aus dem abwechselnden Eintauchen in Kalt- und Warmwasser besteht

(Hauswirth & Mujika, 2013, S.191)

Mehrere Aspekte der Ergebnisse dieser Genesungsverfahren, darunter metabolische, neurologische, kardiovaskuläre und muskuläre Aspekte, wurden als Funktion verschiedener Indikatoren für Müdigkeit untersucht. Sportler verwenden im Allgemeinen entweder Heiß- oder Kaltwassertauchgänge oder eine Kombination aus beidem.

Die Hypothesen, die zur Erklärung der verbesserten Qualität der Regeneration oder der verkürzten Zeit, die für die Wiederherstellung bei der Verwendung von Immersion notwendig ist, entwickelt wurden, sind hauptsächlich mit drei Faktoren verbunden:

- hydrostatischer Druck
- schmerzstillende Phänomene und
- ein entzündungshemmender Prozess (verbunden mit einer lokalen Gefäßverengung beim Eintauchen in kaltes Wasser)

Im ersten Fall ist der hydrostatische Druck unter Wasser höher als in der Luft über die gesamte Körperoberfläche. Gase, Substanzen und Flüssigkeiten bewegen sich dadurch in Richtung Brustkorb, ermöglichen daher eine verbesserte Regeneration und reduzieren die durch

Bewegung hervorgerufene Schwellung (Wilcock, Cronin und Hing 2006). Darüber hinaus sollten die Nervenreize durch Kompression von Muskeln und Nerven aufgrund des hydrostatischen Drucks begrenzt werden. Das Eintauchen in das thermoneutrale Wasser wurde verwendet, um zu bestimmen, wie sich der hydrostatische Druck auf die Erholung auswirkt. In der Literatur besteht diese Art des Eintauchens darin, den ganzen oder einen Teil des Körpers bei einer Temperatur zwischen 16°C und 35°C in Wasser zu tauchen. Wasser gilt jedoch nur dann als thermoneutral, wenn die Körpertemperatur eine Stunde lang bei rund 35°C gehalten werden kann. So kann je nach Menge des subkutanen Fettes die Körpertemperatur für eine Stunde in Wasser zwischen 30°C und 34°C gehalten werden. (Wilcock et al., 2006)

Im zweiten Fall hat die Abnahme der Körpertemperatur durch das Eintauchen in kaltes Wasser auch Vorteile für die Nervenübertragung und Entzündungserscheinungen. Die Exposition gegenüber kaltem Wasser kann die Nervenübertragung durch Temperaturabsenkung verändern. Dennoch können auch andere Phänomene auftreten, wie z. B. die lokale Gefäßverengung, die sowohl metabolischen Nebenprodukte als auch das Ausmaß der Entzündung begrenzt und so die Schmerzen und Beschwerden während der Bewegung reduziert. Darüber hinaus reduziert die Kälteeinwirkung die Herzfrequenz und erhöht den peripheren Widerstand, da der Körper versucht, den Rückgang der Körpertemperatur auszugleichen. Um zu überleben, bevorzugt der Körper die Bewässerung des Kerns gegenüber den Extremitäten (Gliedermaßen). Das Kaltwasser-Immersionsverfahren wurde bereits in der Vergangenheit wegen seines schmerzstillenden Potenzials zunächst zu therapeutischen Zwecken eingesetzt, da es eine wichtige Rolle bei der Behandlung akuter Muskelverletzungen spielt. Es besteht darin, den zu behandelnden Körperteil 5 bis 20 Minuten lang in Wasser zwischen 4°C und 16°C zu tauchen. „Im dritten Fall verursachen kalte Temperaturen eine Verengung der Blutgefäße in der Haut, während warme Temperaturen eine Vasodilatation (Ausdehnung/Erweiterung) auslösen“ (Wilcock et al., 2006). Die Kombination von Vasodilatation und Vasokonstriktion (Gefäßverengung) stimuliert die Durchblutung und reduziert so das Ausmaß und die Dauer der Entzündung. „Dieses Blutpumpen könnte einer der Mechanismen sein, die die Verdrängung von Stoffwechselprodukten, die Reparatur trainierter Muskeln und die Reduzierung von Stoffwechselprozessen ermöglichen“ (Hing, White, Bouaaphone und Lee, 2008). Es wird angenommen, dass die erhöhte Durchblutung eine angemessene Reaktion auf den Gradienten fördert und den intra- und extrazellulären Austausch fördert. Die Erhöhung der Durchblutung führt auch zu einem Anstieg des Schlagvolumens (SV) durch Erhöhung der kardialen Vorlast. Umgekehrt kann es bei Ödemen zu einer lokalen Vaso Kompression (Druck auf Blut- oder

Lymphgefäße durch raumfordernde Prozesse) kommen, die die Stoffwechselrate verändern kann.

1.5.3 Kalt-und Warm-/Heißwasserimmersionen

Der Begriff „Thermotherapie“ wird im Allgemeinen für die Anwendung von Wärme verwendet. In der physikalischen Therapie ist nicht nur die Behandlung von Wärme inbegriffen, sondern es wird unterschieden zwischen Maßnahmen, die Wärme entziehen (Kältetherapie) und zuführen. Die unterschiedlichen Arten der Thermotherapie wirken sich auch unterschiedlich, je nach Dauer und Applikationsform, auf den Körper aus. (Steinmann & Allwang, 2008, S.123)

Wirkungen einer Warm- und Heißwasserimmersion

- Analgesie (Schmerzlinderung bzw. Aufhebung der Schmerzempfindung)
 - Vasodilatation (Erweiterung) mit Mehrdurchblutung zur Anregung des Stoffwechsels
 - Elastizitätszunahme des Bindegewebes
 - Detonisierung (Senkung der Muskelspannung) der Muskulatur
 - Spasmolyse (Beendigung/Lösung eines Krampfes)
 - Trophikverbesserung (Stoffwechsel betreffend)
- (Steinmann & Allwang, 2008, S.123f.)

Wirkung einer Kältetherapie

- Herabsetzung der Nervenleitgeschwindigkeit
 - Hemmung von Nozizeptoren und dadurch Heraufsetzen der Schmerzgrenze
 - örtliche Analgesie
 - vermindert Aktivität von Entzündungsmediatoren
 - herabgesetzte Permeabilität (Durchlässigkeit) der Gefäßwand
- (Steinmann & Allwang, 2008, S.125)

Auf die Muskulatur hat eine Kältetherapie ebenfalls Auswirkungen. Bei einer Kurzzeitanwendung steigert es die Spindelaktivität und den Muskeltonus (Spannungszustand eines Muskels). Zu einer Senkung der Spindelaktivität und des Muskeltonus kommt es bei einer Langzeitanwendung. Die Kurzzeittherapie, die rund fünf bis zehn Minuten dauert, trägt unter anderem zur Vermeidung von posttraumatischen/postoperativen Schwellungen und zur Linderung von Schmerzen (nach einer Übungsbehandlung) bei. Von einer Langzeittherapie spricht man, wenn die Dauer der Behandlung rund zehn bis 20 Minuten andauert. Das

vorrangige Ziel dieser Applikation ist die Senkung des Muskeltonus. Die Nervenleitgeschwindigkeit und periphere Erregbarkeit wird herabgesetzt und diese Art der Kälteanwendung ist 20-30 Minuten nach einem Trauma oder intensiver Belastung mit Muskelschädigungen sinnvoll. (Steinmann & Allwang, 2008, S.127f.)

Während Immersionstechniken theoretisch den Erholungsprozess begünstigen, haben Studien je nach verwendeter Technik sehr unterschiedliche Ergebnisse gezeigt. Um einen klareren Überblick über die Situation in Bezug auf die wissenschaftlichen Daten zu geben, werden die Auswirkungen der verschiedenen Immersionstechniken im Kapitel "Vergleich und Interpretation relevanter Studienergebnisse" näher untersucht.

1.5.4 Aktive Erholung

Aktive Erholung besteht darin, die submaximale Arbeit nach dem ermüdenden Training aufrechtzuerhalten, mit dem Ziel, das Leistungsniveau zwischen den Ereignissen zu erhalten. Dies soll die Regenerationsmechanismen auf der energetischen, muskulären und psychologischen Ebene verbessern. Die aktive Erholung kann zu verschiedenen Zeiten geplant werden, entweder im Rahmen eines Trainings oder während der Abkühlphase. Es ist auch möglich, die aktive Erholung in den folgenden Tagen in ein intensives Training oder einen Wettkampf einzubeziehen. (Hausswirth & Mujika, 2013, S.29)

Die Leistung bei vielen sportlichen Aktivitäten hängt von der Fähigkeit des Athleten ab. Abhängig von der Dauer der Übung, ihrer Intensität und ihrer kontinuierlichen oder intermittierenden Belastung, ist die Leistung am Pensum der anaeroben und aeroben Kapazität des Athleten gebunden. (Gastin, 2001). So beinhalten beispielsweise kurze, hochintensive Aktivitäten wie das Sprinten hauptsächlich den anaeroben Stoffwechsel, während Langstreckenrennen mehr auf den aeroben Bereich angewiesen sind. Abhängig von den Geschwindigkeitsschwankungen, die durch die Aktivität auferlegt werden, beinhalten viele Disziplinen gemischte Energiequellen, die sowohl den anaeroben als auch den aeroben Bereich auf ein signifikantes Niveau bringen. (Gastin, 2001). Ein gutes Beispiel liefern Mannschaftssportarten, bei denen immer wieder wiederholte Sprints durch Perioden weniger intensiver Aktivität getrennt sind. Aus diesem Grund muss die Regeneration in Bezug auf die Dauer und die verwendete Methode (aktiv oder passiv) sorgfältig gesteuert werden, da sie die Stoffwechselreaktion auf die Übung und die durch das Training induzierten chronischen physiologischen Anpassungen direkt beeinflussen kann.

1.5.5 Kryotherapie

Die ersten Kältekammern mit sehr niedrigen Temperaturen wurden 1989 in Japan eingesetzt, als Yamauchi eine Kryokammer zur Behandlung von Rheuma verwendete. Die positive Wirkung der Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) wurde anschließend auf verschiedene Entzündungszustände - Arthritis und Multiple Sklerose, rheumatoide Arthritis - und auf Hauterkrankungen wie Psoriasis ausgedehnt. WBC wurde dann auch als Therapie herangezogen, um Schmerzen zu behandeln und posttraumatische Ödeme zu verhindern. Im Sportbereich wurde WBC bei Temperaturen nahe -100°C eingesetzt, um die Ausbreitung von Muskelverletzungen zu begrenzen. Es wurde auch als prophylaktische Behandlung angeboten, um das Risiko von Muskelverletzungen während intensiver Trainingszeiten zu reduzieren. (Hauswirth & Mujika, 2013, S.169f.)

1.5.6 Regenerationsverfahren und die Evidenz der Wirksamkeit

Tabelle b gibt eine tolle Übersicht darüber wie sich die aktive Erholung (AE), die Kaltwasserimmersion (KWI) und die Sauna auf die unterschiedlichen Wirkungsebenen auswirkt. Die Zeichen „+“, „-“ und „o“ stehen immer im Vergleich zur passiven Erholung (PR). Bei einem „+“ hat das Regenerationsverfahren einen positiven Einfluss im Vergleich zur passiven Regeneration und bei einem „-“ wirkt es sich negativ aus. Ein „o“ kennzeichnet sich dadurch aus, dass es keinen Unterschied gibt. Anhand der hier dargestellten Tabelle wird ersichtlich, dass es kein Regenerationsverfahren gibt, welches durchgehend besser abschneidet als eine passive Erholung. Lediglich bei der neuromuskulären Wirkungsebene beim Parameter „Schmerz“ sind alle drei genannten Verfahren wirkungsvoller als die PR. Auf der energetischen Wirkungsebene bei den Parametern „LA-Elimination“ und „Substrattransport“ weisen AE und KWI eine positive Auswirkung im Vergleich zur PR auf. Die Sauna hingegen hat weder einen positiven noch einen negativen Einfluss im energetischen Wirkungsbereich. Die KWI wirkt sich auf den Wirkungsebene inflammatorisch (Ödembildung), endokrinologisch (Cortisol) und psychovegetativ (Erholungszustand und Beanspruchungszustand) unentwegt effektiver und wirksamer aus als die PR. Die Kaltwasserimmersion erweist hinsichtlich der Temperatur und Dehnbarkeit als negativ und somit ist diese Anwendung nicht förderlich im Regenerationsprozess. Jedoch muss erwähnt werden, dass im selben muskulären Wirkungsbereich die „Delayed Onset Muscle Soreness“ (DOMS) einen positiven Einfluss auf den Erholungsprozess hat. Letztendlich ist zu sagen, dass die erwähnten Regenerationsverfahren durchaus wirkungsvoller sind als eine PR und ob sie dazu beitragen,

die Leistungen der Sportler/innen steigern reicht momentan die wissenschaftliche Evidenz noch nicht aus. (Hausswirth & Mujika, 2013)

Tabelle b: Übersicht über die Evidenz der Wirksamkeit der Regenerationsverfahren

<u>Wirkungsebene</u>	<u>Parameter</u>	<u>Regenerationsverfahren</u>		
		AE	KWI	Sauna
Energetisch	Laktat-Elimination	+	0	0
	Substrattransport	+	+	0
	Glykogen-Gehalt	-	0	0
Zirkulatorisch	Venöser Rückstrom	+	+	0
	Lokaler Blutfluss	+	-	-
Muskulär	Temperatur	+	-	+
	Dehnbarkeit	+	-	+
	DOMS	0	+	+
	CK (Creatinkinase)	-	0	0
Inflammatorisch	Ödembildung	-	+	-
Endokrinologisch	Cortisol	0	+	-
Neuromuskulär	Aktivierungspotential	0	-	0
	Schmerz	+	+	+
Psychovegetativ	Erholungszustand	-	+	+
	Beanspruchungszustand	0	+	0

(Quelle: mod. n. Hausswirth & Mujika, 2013; Wiewelhove & Ferrauti, 2017, S.429)

1.6 Präventive Trainingsstrategien

Um Verletzungen nun vorzubeugen, ist es von großer Bedeutung, neuromuskuläre (Nerven und Muskeln betreffend) Faktoren zu beachten und das Training danach auslegen. Eine Optimierung der neuromuskulären Funktion verringert das Verletzungsrisiko. (Müller-Wohlfahrt, 2014, S.365) Ist der/die Sportler/in in einem guten körperlichen Zustand, so minimiert sich auch die Erholungs- und Regenerationszeit, da der Körper intensive Belastungen gewöhnt ist und das Risiko von Muskelschädigungen und einer daraus resultierenden längeren Genesung, reduziert sich.

1.6.1 Pre-cooling

Ziel der Vorkühlung ist es, die Wärmespeicherkapazität des Körpers zu erhöhen, um so die Wärmespannung zu reduzieren und die Leistung in einer heißen Umgebung zu verbessern. Es gibt einige Hinweise darauf, dass diese Technik effektiv ist, insbesondere bei Ausdauersportarten, bei denen etwa 3,7 Prozent Leistungssteigerung erzielt werden können. (vgl. Wegmann et al., 2012). Eine effektive Vorkühlung reduziert die Wahrscheinlichkeit, dass die Trainingsintensität aufgrund von Hyperthermie bei Ausdauerereignissen reduziert werden muss. Da es etwa 15-20 Minuten dauert, bis eine Grenze der Wärmespeicherkapazität erreicht ist (zu diesem Zeitpunkt eine Erhöhung der T_{core}), sind Vorkühlstrategien bei Ereignissen, die länger als 15 Minuten dauern, wahrscheinlich effektiver. (Jeffreys & Moody, 2016, S.522)

1.6.2 Ernährung

Steinmann & Allwang (2008, S.67f.) vertreten die Meinung, dass die Verdauung einer Mahlzeit zu Beginn der körperlichen Betätigung abgeschlossen sein soll. Die Vorgänge der Verdauung laufen während der sportlichen Anstrengung weiter, aber die Leistungsreserve des Herz-Kreislauf-Systems wird partiell für die Verdauung in Anspruch genommen und kann dadurch die körperliche Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Eine vertiefte Atmung wird behindert, wenn Sporttreibende einen vollen Magen haben, da das Zwerchfell in Richtung Thorax verschoben wird. Hinzukommend kann die Ermüdungsgrenze bei Dauerbelastungen hinausgeschoben werden, wenn die Flüssigkeitszufuhr in angemessenen Zeitabständen durchgeführt wird. Der Appetit nach anstrengenden Trainingseinheiten ist nicht immer vorhanden, nichtsdestotrotz ist es von großer Bedeutung da energetische Defizit aufgefüllt und die Wasser- und Elektrolytbilanz ausgeglichen werden. Leicht verdauliche, kohlenhydrat- und flüssigkeitsreiche Nahrung ist nach körperlicher Belastung sinnvoll. Kräfte raubende Anstrengungen können durchwegs zu muskulären Zellschädigungen führen und um die Reparaturprozesse zu fördern ist auch eine höhere Eiweißzufuhr von Vorteil. Eine mangelhafte Ernährung kann zu Konzentrationsschwächen führen und diese wiederum können Auslöser von Verletzungen sein, da Sportler/innen in gewissen Situation nachlässig handeln. (Steinmann & Allwang, 2008, S.67)

2. Methode

Die wissenschaftliche Fragestellung soll nun anhand einer systematischen Literaturanalyse aufgearbeitet und auch beantwortet werden. Damit dies erfolgreich bewältigt werden kann, wird fachspezifische Literatur herangezogen und gesucht. Mithilfe der Onlinedatenbank „Pubmed“ kommt eine computergestützte Literatursuche hinzu, welche mir es ermöglicht die notwendigen Studien zu diesem Thema zu finden. Alle relevanten Reviews, Artikel, Studien, Beiträge, Bücher etc. wurden bis einschließlich des Jahres 2018 berücksichtigt.

Noch vor der bestimmten Konkretisierung und Gliederung der Arbeit wurden Einschluss- und Ausschlusskriterien getroffen, um das spätere Arbeiten zu erleichtern und nur die Artikel, Studien etc. überblieben, die für die Beantwortung der Fragestellungen notwendig waren. Mittels der gesammelten Studien, Reviews und Artikeln werden die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt und in der Arbeit verglichen und interpretiert.

Bei der Onlineliteraturrecherche wurden folgende Operatoren bzw. Suchbegriffe in die Datenbank eingegeben und miteinander kombiniert:

- Regeneration
- recovery
- muscle damage
- cold water immersion
- warm water immersion
- microwave therapy
- DOMS (delayed onset muscle soreness)
- cryotherapy
- exercise
- heat
- athletic performance

Die besagten Operatoren wurden nun in folgenden zwei Kategorien unterteilt: „heat/thermal“ und „cold“. Diese beiden Kategorien wurden separat behandelt, damit in der Online Suchanfrage der Erfolg für brauchbare Studien größer wurde. Tabelle 1 gibt einen genaueren Überblick.

Tabelle c: Operatorenliste

	heat/thermal	cold
1)	“regeneration“ OR “recovery“	“regeneration“ OR “recovery“
2)	“warm water immersion“ OR “heat“ OR “microwave therapy“ OR “hot water immersion“ OR “thermal“ OR “active recovery“	“cold water immersion“ OR “cryotherapy“ OR “contrast water immersion“
3)	”sport“ OR ”athletic performance“ OR ”exercise“ OR “sport performance“	”sport“ OR ”athletic performance“ OR ”exercise“ OR “sport performance“
4)	“delayed onset muscle soreness“ OR “muscle damage parameter“	“delayed onset muscle soreness“ OR “muscle damage parameter“

Die Operatoren wurden in vier Unterkategorien eingeteilt und miteinander in maximal fünf Begriffen in die Onlinedatenbank „pubmed“ mit einem „AND“ eingegeben. Die Operatoren wurden unter Anführungszeichen gesetzt, um Falschinterpretationen der Suchanfrage auszuschließen. Der Grund, warum die Operatoren mit einem AND verbunden wurden war, um zu gewährleisten, dass zumindest ein Suchbegriff pro Gruppe in den zur Verfügung stehenden Artikeln und Studien vorkommt.

2.3. Ein- und Ausschlusskriterien

Des Weiteren wurde die Suchanfrage auf Studien (clinical trials) eingeschränkt, die nur Menschen als Probanden herangezogen haben, welche sich im Alter von 19-44 Jahren befanden.

Zusätzlich dazu wurden nur relevante Artikel der letzten zehn Jahre bezüglich ihres Publikationsdatum herausgefiltert. Bezüglich der Sprache welche in besagten Studien verwendet wurde, standen für meinen persönlichen Wissensstand Englisch und Deutsch zur Verfügung.

In den Filterkriterien wurden folgende Eigenschaften ausgewählt, die sich unter anderem auch als Ein- und Ausschlusskriterien definieren:

- ”clinical trials“
- ”humans“

- "adults: 19-44 years"
- "10 years"
- "Englisch"

Die Suchanfragen ergaben zahlreiche Treffer, die anhand der eingegebenen Operatoren, gefunden wurden. Es wurden nur Studien herangezogen, in denen gesunde und fitte Menschen die Probanden/innengruppe darstellten. Diese Personen hatten zu Beginn der Studie eine Belastung in Form eines Trainings oder Spiels in den Sportarten Radfahren, Fußball, Krafttraining, Schwimmen etc. und im Anschluss folgten diverse Regenerationsmaßnahmen, um danach eine erneute körperliche Belastung bestmöglich durchführen zu können.

Zur besseren Übersicht sind die Ein- und Ausschlusskriterien nochmals aufgelistet:

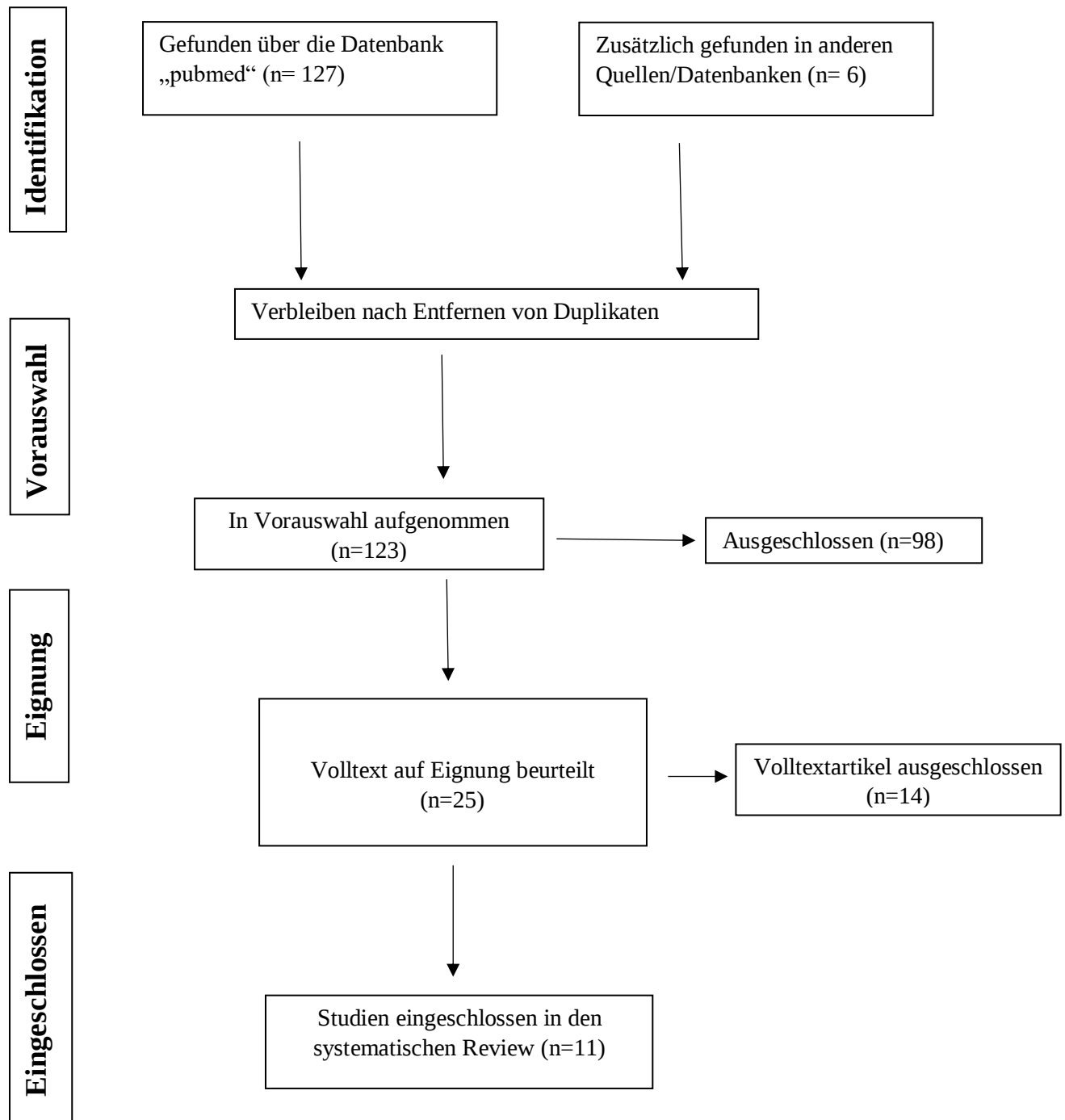
- gesunde und fitte Menschen
- Belastung in Form eines Trainings oder Wettkampfes/Spiels
- Regenerationsmaßnahmen im Anschluss
- erneute körperliche Betätigung nach Erholungsphase

Nicht nur die Suchanfrage für Studien erzielte Erfolge. Das Studium der in der Datenbank „Pubmed“ gefundenen Literatur führte zu weiteren Literaturverweisen die ebenfalls in diesen systematischen Review einbezogen wurden und meinen Kriterien entsprachen. Im Literaturverzeichnis dieser Reviews wurde der Titel der benötigten Studie gleich gefunden und mithilfe von „pubmed“, „u:search“ oder „google“ konnte der volle Umfang der Studie gefunden werden.

Des Weiteren wurden nur Studien einbezogen, welche auch Parameter für Regeneration und Leistungssteigerungen lieferten. Bei einer ersten Sichtung der Literatur stand der Titel der Studie im Blickpunkt und anhand weiterer Ein- und Ausschlusskriterien blieben elf Studien übrig, die für die Beantwortung meiner Forschungsfragen als relevant eingestuft wurden. Die Inhalte dieser Studien werden herangezogen, analysiert und interpretiert, sodass am Ende Ergebnisse präsentiert werden können.

3. Ergebnisse der Studiensauswahl – Darstellung mittels PRISMA

Die Literaturrecherche führte zur Identifizierung von elf Studien. Eine kritische Bewertung der Referenzen und zusätzliche Datenbanken wie „Medline“ oder „Embase“ führten zur Aufnahme von sechs zusätzlichen Studien. Der Rest wurde über die Datenbank „pubmed“ gefunden.



Nach Entfernen der Duplikate, blieben 123 Studien übrig und wie bereits in Kapitel 1.2 erwähnt wurde, konnten weitere Ausschlusskriterien nun angewendet werden.

Nachdem die 123 Studien ausgewählt wurden, kamen zahlreiche Filterkriterien wie „humans“, „adults:19-44 years“, „10 years“ etc. hinzu und 25 Studien eigneten sich für diesen systematischen Review und mussten, wie in Kapitel 2 beschrieben, genauer beurteilt werden. Die Volltexte wurden gelesen und nach gründlicher Recherche stellte sich heraus, dass elf Studien zur weiteren Analyse geeignet waren. Von den 14 Volltextartikeln, die ausgeschlossen wurden, handelten zehn davon, wie Sportler/innen nach einer schweren oder leichten Verletzung schnellstmöglich mit Kälte oder Wärme regenerieren. Ein essentieller Aspekt der ausgewählten Studien war es, dass die Probanden frei von Verletzungen oder Erkrankungen sind. Die vier restlichen Studien, die nicht mitaufgenommen wurden legten dar, wie Menschen mit Erkrankungen ihre Symptome mit Kälte- oder Wärmetherapie mindern konnten.

3.1 Zusammenfassung der Tabelle

Insgesamt wurden elf Volltextarbeiten in die Arbeit eingeschlossen und Tabelle in Kapitel 3.2 zeigt die Anzahl der Teilnehmer und ihre Merkmale aus den angeführten Studien, die in diesen Untersuchungen vorkommen.

Zusammenfassend zur Tabelle lässt sich sagen, dass bei den meisten Studien nur eine relativ kleine Anzahl an Personen untersucht wurde. In fünf von elf Studien ist die Gruppe an Probanden nicht größer als 12, wohingegen bei den anderen Studien die Teilnehmeranzahl sich zwischen 20 und 36 bewegt. Deutlich zu sehen ist, dass die weiblichen Personen unterrepräsentiert sind und es sich dabei fast ausschließlich um Männer handelte. Es fungierten Frauen lediglich in nur drei Studien als Testpersonen.

Am Alter ist ersichtlich, dass sich der Großteil mit sehr jungen Leuten (19 bis 24 Jahren) befasst und so lag das Durchschnittsalter bei nur einer Studie über 30 Jahre. Der Fitnesszustand der Probanden war stets gut, da die Teilnehmer aller elf Studien sportlich aktive und gesunde Menschen waren, die keine Verletzungen und Erkrankungen hatten.

Die Studien wurden so gewählt, dass nach einer Regenerationsmaßnahme oft eine Belastung erfolgte, um zu sehen, ob die Testpersonen fit genug für neue Belastungsreize sind und wie sich Werte wie Laktat und Kreatinkinase sich im Laufe des Testprogramms verhalten. Ein wichtiger Aspekt war deshalb die Dauer der Studien. Bis auf zwei eintägige Studien, handelte es sich bei den restlichen um mindestens zwei oder mehrere Tage. Doch um Ergebnisse zu erhalten war die Erholungsmaßnahme nach sportlicher Belastung der wichtigste Bestandteil für weitere Analysen. Diese Interventionsmaßnahmen werden als Kälte- oder Wärmetherapien

zusammengefasst und die elf vorliegenden Studien beinhalteten eine oder mehrere der folgenden Regenerationsmaßnahmen:

- Kaltwasserimmersion (CWI) – Wassertemperatur lag zwischen 5°C und 15°C
- Warmwasserimmersion (WWI) – Wassertemperatur lag bei 30°C
- Heißwasserimmersion (HWI) – Wassertemperatur lag bei 38°C
- Kontrastwassertherapie (CWT) – Wechsel zwischen 10°C und 40°C
- Sauna - Temperatur in der Sauna lag zwischen 76°C und 83°C
- Aktive Erholung - 30% der VO₂max (langsames Laufen)
- Passive Erholung – ohne jegliche Bewegung rund 15 Minuten sitzen

Bevor es zu einer Erholungsphase kam, absolvierten im Vorhinein die Sportler/innen verschiedene Belastungstest, die bestimmte Werte ermittelten und diese auch aufzeichneten, um bei einem Wiederholungstest die Daten vergleichen zu können. Folgende Trainingseinheiten wurden in unterschiedlichen Studien ausgeführt:

- Belastungen: Radfahren/Ergometer (Sprints und Zeitfahren)
- Schwimmen (Freistil)
- Durchgänge mit max. dynamischer Kniestreckung und Flexionskontraktion
- Teamsport (Fußballspiele)
- shuttle-run
- Intervalltraining (Laufen)
- Counter-Movement-Jump (CMJ)
- Krafttraining Arme (am Contrex Dynamometer)

In allen Studien wurden die zu ermittelnden Werte, wie beispielsweise das „muscle soreness rating“ mit Hilfe der Borg-Skala evaluiert. Weitere Parameter, die für eine Regeneration herangezogen wurden, waren die Herzfrequenz, wiederholte Belastungstests und Veränderungen der Laktat- und Kreatinkinasewerte. Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen darauf schließen, dass eine Erholung in Form von Kälte oder Wärme nach sportlicher Betätigung einen größeren Effekt bezüglich Genesung und Setzen von neuen Reizen hat als keine bzw. passive Erholung. Es kommt natürlich immer darauf an, wie intensiv das Training ist und wie lange die Maßnahmen zur Regeneration andauern. Lediglich Rupp et al. (2012) und Costello, Algar und Donnelly (2012) kamen bei ihren Studien zum Entschluss, dass es zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede bei den von ihnen verwendeten Interventionen gab. Alle anderen Studien untermauern die Wichtigkeit einer Kälte- oder Wärmetherapie nach

sportlicher Anstrengung, da selbst das Befinden der teilnehmenden Sportler/innen bezogen auf den Muskelkater positiv ausfällt und somit dazu beiträgt, dass die Personen früher neue Belastungsreize setzen können.

Allerdings muss in den resümierenden Überlegungen stets berücksichtigt werden, dass es vor allem im Bereich der Regeneration eine große Streuung gibt, da es schwierig ist, die gewonnen Ergebnisse einer geringen Anzahl von Individuen auf die Gesamtheit umzulegen.

3.2 Studien zur Kälte- und Wärmeregeneration

Die bereits ausgewählten Studien wurden wie bereits in Kapitel 1.2 erwähnt, anhand von Ein- und Ausschlusskriterien gefiltert, sodass, elf Studien in diese Arbeit eingeschlossen werden konnten. Diese elf Studien sind mittels einer Tabelle nochmals zusammenfassend dargestellt und im weiteren Verlauf der Arbeit werden diese diskutiert und analysiert, um die Fragestellungen der Arbeit zu beantworten.

STUDIE (Design)	TN	ALTER	DAUER	BELASTUNG	INTERVENTIONS- MASSNAHMEN	SPORTART	ERGEBNISSE
Vaile et al. (2008) (randomized crossover control trial)	12 trainierte männliche Radfahrer	32,2 ± 4,3 Jahre	Acht- wöchiges Programm	105 min Belastung (inklusive Sprints und Zeitfahren)	CWI: 15°C - 14 Minuten CWT: Wechsel zw. Kalt/Heiß HWI: 38°C – 14 Minuten PAS: 14 Minuten sitzend	Radfahren	• Sprintleistung senkte sich um 1,7% - 4,9% nach PAS und 0,6-3,7% nach HWI • Verbesserungen von 0,5 – 2,2% nach CWT und 0,1 – 1,4% nach CWI • Zeitfahren: CWI- u. CWT- Gruppen leisteten im Vergleich zu HWI und PAS weniger Gesamtarbeit
Soulta- nakis et al. (2015) (crossover design)	acht trainierte männliche Schwimmer	21,5 ± 2,4 Jahre	viertägiges Programm	800m Schwimmen und 2x 50m Freistil Sprint	CWI: 26,7°C – 15 Minuten WWI: 30°C – 15 Minuten PAS: 15 Minuten Ruhe	Schwimmen	• keine signifikanten Unterschiede bei CWI und WWI bzgl. Zeit, Geschwindigkeit oder Schlagrate. • Laktatwerte vor 50m Sprints nach WWI (2,8 ±1,03 vs. 6,3 ±1,37 mmol/l) und CWI (3,6 ± 2,10 vs. 5,9±2,06 mmol/l) signifikant höher als vor dem 50m Schwimmen mit keiner

							Immersionsphase(PAS) • Handgriffstärke wurde nach WWI signifikant reduziert
Yeung et al. (2016) (randomized controlled study)	zehn gesunde Menschen (fünf weibliche/fünf männliche Probanden)	22 ± 0,52 Jahre	eintägiges Programm	zwei belastende Durchgänge mit maximaler dynamischer Kniestreckung und Flexionskontraktion	CWI: 12-15°C – zehn Minuten Kontrollgruppe: passive Regeneration ohne Bewegung (PAS)	Krafttraining	• CWI: niedrigere Herzfrequenz (88,8 ± 5,52 beats/min) • größere Reperfusion (=Wiederherstellung des Blutflusses) u. Erhöhung der Sauerstoffzufuhr zum Muskel • Behandlungsgruppe hatte geringeren Muskelkater als Kontrollgruppe
Ingram et al. (2009) (counterbalanced crossover study)	elf männliche Athleten aus versch. sportlichen Bereichen	27,5 ± 6 Jahre	drei dreitägige Testversuche (Abstand zw. den Tests waren zwei Wochen)	Grundmessung der Leistung, 80 minütigen Teamsport, 20m shuttle-run Test	CWI: 10°C – 10 Minuten CWT: Wechsel zw. kalt und heiß (10°C u. 40°C) passive Regeneration: (=Kontrollgruppe)	Teamsportler	• ‚Total sprint time‘ nach Kaltwasserimmersion leicht, aber nicht signifikant schneller • ‚Muscle soreness rating‘ CWI im Vergleich zur Kontroll- und zur CWT-Gruppe bessere Werte

Bastos et al. (2012) (RCO)	20 männliche und sportlich aktive Menschen	21 ± 2 Jahre	3x einen Tag Belastung mit sieben Tage Pausen zw. jedem Testtag	„constant velocity exhaustive test“ bis zu gewollten Erschöpfung	CWI: 11 ± 2°C – sechs Minuten AR: 30% der VO2max – sechs Minuten PAS: Kontrollgruppe	Team-sportler	• signifikante Unterschiede im Erreichen des Blutlaktatspitzenwertes zw. CWI u. PAS (6,3 ± 2,4 vs. 9.8 ± 3,1 min) sowie zw. AR und PAS (7,13±2,71vs. 9,84 ± 3,07) • Analyse von lnHf: moderate Effektgröße (ES) zw. AR und CWI; zw. PAS und AR bzw. zw. PAS und CWI
Elias et al. (2013) (randomized controlled trial)	24 Profifußball-spieler	19,9 ± 1,8 Jahre	einmaliges Eintauchen nach einem Fußballspiel	Fußballmatch	CWI: 12°C – 14 Minuten CWT: Wechsel zw. kalt und heiß (12°C u. 38°C) PAS: Kontrollgruppe	Fußball	• Muskelkater- u. Müdigkeitsrating während der 48-stündigen Erholungsphase bei CWI deutlich besser als bei CWT u. PAS • „Total sprint time,s“: Ausgangswerte wurden bei CWI schneller erreicht

Rupp et al. (2012) (randomized controlled trial)	22 Fußballspieler /innen (13m. u. 9w.) der Division I College League	19,8 ± 1,1 Jahre	zweitägiges Test- programm mit zweimaligem Eintauchen in ein Kaltwasser- becken	Yo-Yo-Intervall- Recovery-Test (YIRT) Counter Movement vertical Jump (CMVJ)	CWI: 12°C – 15 Minuten PAS: Kontrollgruppe	Ausdauer/ Fußball	• zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen der CWI- und der Kontrollgruppe • wahrgenommene Müdigkeit bei CWI nach 24h geringer als bei PAS
Rey et al. (2012) (randomized controlled trial)	31 männliche Fußball-profis	23,5 ± 3,4 Jahre	zweitägiges Test- programm	CMJ 20m Sprint Balsom- Agilitätstest	AR: 12 min. submaximales Laufen und acht Minuten Stretching PAS: 20 min sitzend auf einer Bank	Ausdauer/ Fußball	• Posttestwert des CMJ in der aktiven Erholungsgruppe signifikant höher war als in der passiven G. • Aktive Gruppe konnte Muskel-flexibilität der Hamstrings halten, passive Gruppe fiel ab
Costello et al. (2012) (randomized controlled trial)	36 aktive Sportler/innen (m:24 / w:12)	20,8 ± 1,2 Jahre	Dreitägiges Test- programm	Knie-JPS MVIC	WBC: -110°C – drei Minuten Kältezimmer: 15°C – drei Minuten	Kraft- training	• Veränderung der TTY-Werte gegenüber dem Ausgangswert ergab einen signifikanten Temperatur-unterschied bei 3min und 8min

							nach der Kältekammer • es gab keine weiteren signifikanten Veränderungen
Kham-wong et al. (2015) (randomized controlled trial)	28 gesunde u. männliche Personen	20,9 ± 1,6 Jahre	Achttägiges Testprogramm	Armübung am Contrex Dynamometer	Sauna: 76,67-82,22°C – 15 Minuten Kontrollgruppe: 15 Minuten sitzend	Kraftübungen	• signifikanter Anstieg der Durchblutungsmessungen vor der Sauna (14,91 ± 9,18 flux/min) u. nach der Saunaanwendung (70,15 ± 30,74 flux/min) • Saunagruppe im Vergleich eine geringere Schmerzintensität • Sauna geringeres Defizit an PF-ROM u. PE-ROM als die Kontrollg. • Sauna geringeres Defizit an Griffstärke • geringfügigerer Abfall bei Handgelenksstreckung der Saunagruppe

Anderson et al. (2018) (randomized counterbalanced trial)	Neun männliche Teamsportler	24 ± 2 Jahre	Dreitägiges Testprogramm (Abstand pro Testprogramm waren sieben Tage)	Intervalltraining am Laufband	CWI: 14°C – 12 Minuten CWI: 5°C – 12 Minuten Kontrollgruppe: 12 Minuten sitzen	Laufintervalltraining	• CWI (5°C) 24h nach der Belastung bei Wiederherstellung der PPO effektiver als CWI (14°C) und PAS • 48h nach Intervalltraining PAS und CWI (5°C) effektiver als CWI (14°C) • Spitzenleistung (PPO) 72h nach Training bei beiden CWI-Gruppen größer als bei PAS • MPO wurde bei CWI (5°C) am stärksten und bei PAS am wenigsten reduziert • Keine signifikanten Unterschied bzgl. Laktat- u. Kreatinkinasewerte und Muskelkaterrating
---	------------------------------------	---------------------	--	--------------------------------------	---	------------------------------	---

CWI: Kaltwasserimmersion
CWT: Kontrastwassertherapie
HWI: Heißwasserimmersion
WWI: Warmwasserimmersion
WBC: Gantkörperkryotherapie

AR: aktive Erholung
PAS: passive Erholung (Kontrolle)
CMJ: Counter Movement Jump
CMVJ: Counter Movement vertical Jump
TTY: Mittelohr-Temperatur

lnHF: parasympathischer Index
PF-ROM: Handgelenksstreckung
PE-ROM: Handgelenksbeugung
MPO: Durchschnittsleistung
PPO: Spitzenleistung

1) Vaile, Halson, Gill und Dawson (2008) beschäftigten sich mit ihrer Studie, in der sie herausfinden wollten, inwiefern sich die folgenden Regenerationsmaßnahmen Kalt-, Heiß- und Kontrastwasserimmersion auf die Erholung von zwölf trainierten Radrennfahrern auswirkt. Zusätzlich gab es noch eine Kontrollgruppe, die sich passiv, sprich ohne Bewegung, regenerierte. Die Probanden waren zu diesem Zeitpunkt der Studie im Alter zwischen 28 und 37 Jahren, dies ergab ein Durchschnittsalter von rund 32,2 Jahren. Die Männer durchliefen ein achtwöchiges Belastungsprogramm, da jeder Sportler alle vier Erholungsinterventionen anwenden durfte.

Abbildung 2 gibt einen guten Überblick bezüglich des Ablaufs dieser Studie. Jede Phase dauerte fünf Tage, in der immer nur eine Regenerationsmaßnahme

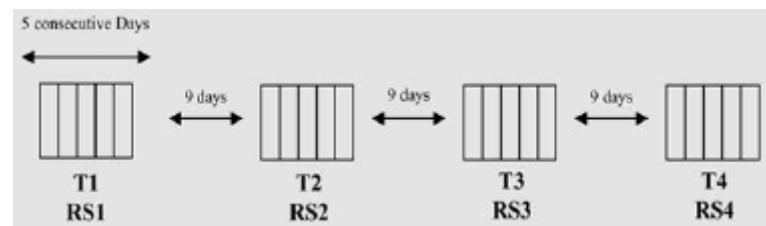


Abbildung 2: Ablauf der achtwöchigen Testung (Quelle: Vaile et al (2008, S.540))

angewendet und getestet wurde. Im Anschluss gab es eine neuntägige Pause und damit sich während der Testwochen die körperliche Belastung und Intensität aller Teilnehmer dieser Studie im selben Bereich befand, wurde ein Trainings- und Ernährungstagebuch geführt.

Vor der Teilnahme absolvierten alle Probanden einen $\text{VO}_2 \text{ max}$ – Test, der an einem Ergometer durchgeführt wurde. Darüber hinaus durchliefen die Sportler drei Einarbeitungssitzungen, um ihnen das Verfahren der Testung und die Protokollführung näher zu erläutern.

Die Teilnehmer absolvierten ein zehnminütiges, selbstgesteuertes Aufwärmen, gefolgt von $3 \times 3\text{s}$ Sprints bei einer Intensität von rund 70%, 80% und 90% der maximal möglichen Anstrengung.

Der Hauptbestandteil der Belastung dauerte an den fünf aufeinanderfolgenden Tagen ca. 105 min. Dieser bestand aus max. 66 Sprints mit hoher Belastung und einer Dauer von 5-15 Sekunden und mit spezifischen Arbeits-Ruhe-Verhältnissen von 1:6, 1:3, 1:1. Zusätzlich wurde eine anhaltende Belastung von insgesamt neun Minuten eingebaut, die aus $2 \times 2\text{-Minuten-}$ und einem 5-Minuten-Zeitfahren bestand. Diese „work“-Phase des Intervalltrainings setzte eine maximale Anstrengung voraus, während die „rest“-Phase mit einer 40-50%igen Intensität der individuellen Spitzenleistung bewältigt wurde.

Dieses Protokoll wurde dazu verwendet, um die Anforderungen eines Radrennens zu simulieren und eine Angabe auf Wiederholungsleistungen zu geben. Hinzu kommt, dass während jeder Testsitzung die Sportler verbal ermutigt und unterstützt

10 min warm up
Set 1 – $12 \times 5 \text{ s}$; 1:6 (Work:Rest)
Set 2 – $12 \times 5 \text{ s}$; 1:3 (W:R)
Set 3 – $12 \times 5 \text{ s}$; 1:1 (W:R)
4 min ACT – 2 min TT – 4 min ACT
Set 4 – $6 \times 10 \text{ s}$; 1:6 (W:R)
Set 5 – $6 \times 10 \text{ s}$; 1:3 (W:R)
Set 6 – $6 \times 10 \text{ s}$; 1:1 (W:R)
4 min ACT – 2 min TT – 4 min ACT
Set 7 – $4 \times 15 \text{ s}$; 1:6 (W:R)
Set 8 – $4 \times 15 \text{ s}$; 1:3 (W:R)
Set 9 – $4 \times 15 \text{ s}$; 1:1 (W:R)
5 min ACT – 5 min TT – 5 min ACT
Recovery Intervention
(CWI, HWI, CWT, or PAS) – 14 min

Abbildung 3: Ablauf des Belastungsprogramms (Quelle: Vaile et al (2008, S.540))

wurden. Dies geschah immer von derselben Person und die Art und Weise dieses Ansporns blieb für die Dauer der Studie konsistent. Einen Überblick über dieses hoch intensive Ablaufprogramm bietet die obige Abbildung 3.

Nach Abschluss des Trainings absolvierten die Probanden ein fünfminütiges Abwärmen bei rund 40% der individuellen Spitzenleistung, gefolgt von einem von vier Erholungseingriffen. Für alle fünf Tage der Studie wurde immer dasselbe Verfahren angewendet. Dazu zählte die

- Kaltwasserimmersion (CWI), bei der die Testperson ihren gesamten Körper (ohne Hals und Kopf) in ein Wasserbecken mit einer Temperatur von 15°C für 14 Minuten eintauchte
- Heißwasserimmersion (HWI), bei der die Testperson ihren gesamten Körper (ohne Hals und Kopf) in ein Wasserbecken mit einer Temperatur von 38°C für 14 Minuten eintauchte
- Kontrastwassertherapie (CWT), bei der die Testperson ihren gesamten Körper (ohne Hals und Kopf) abwechselnd in ein kaltes und heißes Wasserbecken eintauchte. Die Übergangszeit von Kalt- und Heißwasserbecken betrug fünf Sekunden. Die Dauer der Regeneration dauerte ebenfalls 14 Minuten und es gab sieben Zyklen, also fand ein Wechsel von kalt zu heiß alle zwei Minuten statt
- Passive Erholung, bei der die Testperson 14 Minuten lang bei minimaler Bewegung sitzen blieb

Es konnten während jeder Testsitzung Daten gesammelt werden, um die Leistung zu ermitteln. Dies geschah mit Hilfe eines SRM-Powermeters (Schoberer Radmesstechnik, Deutschland), das auf einem Windtrainer (Kinetic Fluid Trainer, USA) montiert war.

Ergebnisse

Sprintleistung: Nachdem die CWI und CWT nach der intensiven Belastung an fünf aufeinander folgenden Tagen angewendet wurde, gab es eine signifikant bessere Steigerung der Sprintleistung an den Tagen vier und fünf im Vergleich zur PAS. Des Weiteren gab es an keinem der fünf Tage signifikante Unterschiede zwischen den anderen Behandlungen.

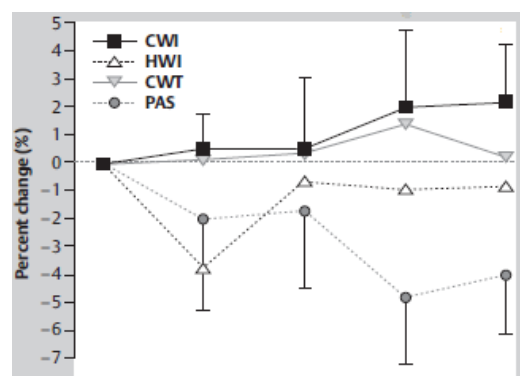


Abbildung 4: Änderung in der Sprintleistung an fünf aufeinander folgenden Tagen nach hoher Intensität (Quelle: Vaile et al (2008, S.541))

Über die fünf Trainingstage hinweg, senkte sich also die Sprintleistung um 1,7% - 4,9% nach PAS und 0,6% - 3,7% nach HWI, während es Verbesserungen von 0,5% – 2,2% nach CWT und 0,1% – 1,4% nach CWI zu verzeichnen gab.

Leistung beim Zeitfahren: Es gab am ersten Tag der Regeneration keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen, jedoch muss angemerkt werden, dass sowohl die CWI- als auch die CWT- Gruppen im Vergleich zu HWI und PAS geringfügig weniger Gesamtarbeit leisteten. Nach PAS Erholung ist die Zeitfahrleistung mit hoher Intensität während der fünf aufeinander folgenden Tage um 3,8% gesunken. Wohingegen die CWT und die CWI zu einer deutlich besseren Leistungserhaltung bzw. sogar zu einer leichten Leistungsverbesserung (CWI:0,1%-1,0% / CWT: 0,0-1,7%) führten. HWI konnte am dritten Tag eine 1,5%ige Steigerung verzeichnen, doch an den letzten beiden Tagen kam es zu einer Verschlechterung von rund 3,4%.

2) Soultanakis, Nafpaktiitou und Mandalloufa führten 2015 eine Studie an Schwimmern durch, deren Ziel die Auswirkung der Erholung durch Eintauchen in kaltes oder warmes Wasser zwischen zwei 50m Freistil-Sprints war. Dabei untersuchten sie die Leistungsdeterminanten und die Laktatreaktionen unter simulierten Wettbewerbsbedingungen.

Die Probanden dieser Studie waren acht gut trainierte männliche Sprintschwimmer, wobei vier davon auf internationaler Basis, Wettkämpfe bestritten. Die restlichen vier Athleten traten gelegentlich auf nationaler Ebene bei Wettbewerben an. Zum Zeitpunkt der Studie waren die Schwimmer zwischen 19,1 und 23,9 Jahre alt und das Durchschnittsalter betrug demnach 21,5 Jahre.

Der Ablauf dieser Studie sah folgendes Programm vor. Nach einer ersten Aufwärmphase, in der die Testpersonen 800 Meter schwimmen mussten, folgte im Anschluss eine 15-minütige Erholungsphase ohne Eintauchen in warmes oder kaltes Wasser. Nachdem die Erholungsphase abgeschlossen war, kam es zum ersten 50m Sprint und nach einer weiteren Regenerationsphase, in der man nun entweder in warmes (30°C) oder kaltes (26,7°C) eintauchte, folgte ein zweiter 50m Sprint. In einem Crossover-Design wiederholten alle Probanden den Versuch 48 Stunden später unter der Verwendung der alternativen Eintauchtemperatur. Während der 50m Sprints wurde die Zeit gestoppt, aber auch die Schlagzyklen (Zeit zwischen dem Eintauchen einer Hand und dem folgenden Eintauchen derselben Hand) der Schwimmer wurden aufgezeichnet. Des Weiteren kam es vor und nach den Studien zu einer Messung der Herzfrequenz und des Laktates

im Blut. Die Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung der Athleten wurde ebenfalls erfasst.

Die Trainingspläne der Schwimmer wurden im Zeitraum der Studie nicht verändert, sie setzten ihr tägliches Trainingsprogramm und Essgewohnheiten wie gehabt fort. Jedoch muss angemerkt werden, dass die Testpersonen einen ganzen Tag vor der Testung und am Morgen davor die gleiche Nahrung zu sich nahmen.

Die Schwimmer wurden darauf hingewiesen, die Belastungen mit maximalem Wettkampftempo zu schwimmen. Während der Regenerationsphase im kalten und warmen Pool, durften die Athleten nur langsame bis keine Unterwasserbewegungen ausführen und die Köpfe wurden nicht untergetaucht.

Alle Messungen fanden in einem 25 Meter Becken statt, das eine Anzahl von acht Längen hatte und die Probanden die Versuche einzeln in einer Mittelspur durchführten. Aus Gründen der Folgerichtigkeit wurden alle zeitgesteuerten Messungen und die Schlagzyklen von erfahrenen Trainern doppelt aufgezeichnet. Die Zeitmessung erfolgte mit digitalen Stoppuhren der Marke Casio HS (Casio CO., Ltd, Tokyo, Japan). Um Resultate zu erhalten wurden deskriptive statistische Analysen durchgeführt und die Daten sind als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung dargestellt. Alle gemessenen Größen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf der Normalität geprüft. Weiters wurden die Daten zunächst durch eine Zwei-Faktor-ANOVA mit wiederholten Messungen für die beiden Temperaturarten und die beiden Versuche analysiert. Pearsons Korrelationen wurden durchgeführt, um die möglichen Zusammenhänge zwischen Schwimmzeit und Ruhephase und Spitzenlaktatkonzentrationen zu erkennen. Die Analysen sind mit dem Statistikprogramm SPSS bearbeitet worden.

Mit Hilfe der 6-20 Borg-Skala wurde das RPE (Rate of Perceived Exertion) festgehalten. Dies dient als Maß, um das subjektive Belastungsempfinden eines Versuchs zu messen. Herzfrequenz wurde vor und nach jedem 50 Meter Sprint durch einen tragbaren Herzfrequenzmesser (Insta Pulse 107, Biosig Instruments, NY) gemessen. Auch die Wasser- und Umgebungstemperatur wurde mit einem In-Water-Pool-Thermometer bzw. mit einem Infrarot-Kontaktthermometer überwacht.

Ergebnisse

Es gab keine signifikanten Unterschiede bei der Art des Eintauchens (CI und WI) in Bezug auf die Zeit, Geschwindigkeit oder Schlagrate.

Die Laktatwerte waren unmittelbar vor den 50m Sprints nach der Warmwasserimmersion ($2,8 \pm 1,03$ vs. $6,3 \pm 1,37$ mmol/l) und Kaltwasserimmersion ($3,6 \pm 2,10$ vs. $5,9 \pm 2,06$ mmol/l)

signifikant höher als vor dem 50m Schwimmen mit keiner Immersionsphase. Die Herzfrequenz vor und nach dem 50m Sprint war nur vor und nach den Versuchen signifikant unterschiedlich, aber nicht signifikant zwischen den Bedingungen. Tabelle 1 gibt einen guten Überblick über die erhaltenen Ergebnisse.

Tabelle d: Ergebnisse zwischen der Warmwasserimmersion (WI) versus keiner Immersion (NI) und Kaltwasserimmersion (CI) vs keiner Immersion (Quelle: Soultanakis et al (2015, S.269))

Variables	Conditions		P-values			P-values
	50 m-NI	50 m-WI		50 m-NI	50 m-CI	
Time (s)	26.50±1.22	26.58±1.44	0.664	26.35±1.16	26.49±1.36	0.256
Event velocity (m/s)	1.89± 0.09	1.89± 0.10	0.763	1.90± 0.09	1.90± 0.10	0.332
Stroke rate (cycles/min)	61.50±7.59	60.19±13.20	0.707	63.56±11.53	60.0±11.87	0.439
HR-pre 50 m	82.5±21.2	86.3±10.6	0.475	82.5±14.88	82.5±22.52	1.000
HR-post 50 m	148.8±8.35§	152.5±8.86§	0.197	143.8±10.61§	146.3±14.08§	0.563

Die Handgriffstärke wurde erst nach der Warmwasserimmersion signifikant reduziert, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Wohingegen die Flexibilität sich vor und nach dem Eintauchen in warmes oder kühles Wasser nicht wesentlich verändert hat. Das subjektive Befinden der Belastung (6-20 Borg-Skala) empfanden die Schwimmer nach der Erholung im Warmwasser als „leicht bis etwas hart“ (12,3±2,6) und im Gegensatz dazu wurde die Anstrengung nach der Regeneration im Kaltwasser als „etwas hart bis hart“ (14,6±1,41) eingestuft. Hier wird ein signifikanter Unterschied deutlich.

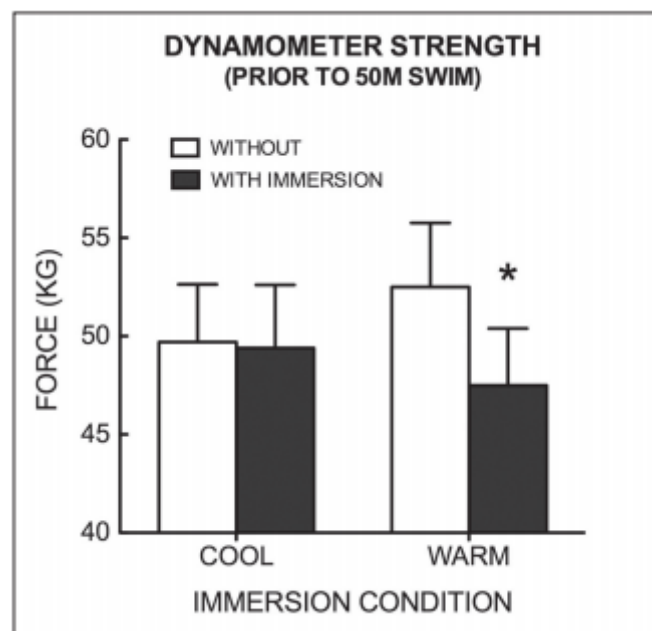


Abbildung 5: Handgriffstärke im Vergleich (Quelle: Soultanakis et al (2015, S.270))

3) S. Yeung, Ting, Hon, Fung, Choi, Cheng und W. Yeung arbeiteten 2016 an ihrer Studie. Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen des Eintauchens in kaltes Wasser auf die Sauerstoffversorgung und Leistungsfähigkeit der Muskeln bei wiederholten Belastungsübungen bei gesunden jungen Erwachsenen zu untersuchen.

Zwanzig gesunde Menschen wurden für diese Studie ausgewählt und unter dem Begriff „gesund“ wurden all jene verstanden, die in der Lage waren schmerzfrei zu trainieren, keine Kontraindikation für die Anwendung der Kältetherapie bestand und eine Fettgewebedicke von unter 6mm bei der Messung einer Nahinfrarotspektroskopie hatten. Das Geschlecht der Probandengruppe teilte sich gleichmäßig in 10 männliche und 10 weibliche Personen auf. Das Durchschnittsalter lag bei 22 Jahren mit einer Standardabweichung von rund $\pm 0,52$ Jahren.

Die Testpersonen wurden nach einem computergeneriertem Zufallsprinzip entweder für eine passive Regeneration oder eine Kaltwasserimmersion ausgewählt. Jede Gruppe bestand aus jeweils fünf männlichen und fünf weiblichen Leuten und es gab keine geschlechterspezifische Präferenz für die Zuteilung.

Die Hobbysportler führten zwei belastende Durchgänge mit maximaler dynamischer Kniestreckung und Flexionskontraktion auf einem isokinetischen Dynamometer durch. Nach der ersten Belastung kam es zu einer zehnminütigen Erholungsphase, in der die Probanden einer Kaltwasserbehandlung oder einer passiven Erholung (=Kontrollgruppe) zugeordnet wurden.

Blutdruck, Herzfrequenz und Hauttemperatur wurden zu verschiedenen Zeitpunkten mit einem automatischen Gerät (Press-Mate BP-8800, Colin Electronics Co. Ltd, San Antonio, Texas) gemessen und mit einem Kupfertemperatursensor wurde die Temperatur der Hautoberfläche (Jockey Club Rehabilitation Engineering Centre, Hong Kong) überwacht.

Die Veränderung der Muskel-Oxygenierung wurde kontinuierlich mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie aufgezeichnet. Das zweite Resultat, welches man auswertete, war das subjektive Befinden der Probanden bezüglich ihres Muskelkaters in den Beinen.

Um sich mit dem Testverfahren vertraut zu machen, führten die Testpersonen fünf submaximale Kniedehnungskontraktionen durch.

Die Ermüdungserscheinungen wurden als Punkt bestimmt, an dem die letzten zehn Kontraktionen kleiner 60% des Spitzendrehmoments waren. Das Spitzendrehmoment ist definiert als das höchste Drehmoment aus den ersten zehn Kontraktionen zu Beginn der Messung. Die Probanden wurden während des gesamten Testverfahrens immer wieder durch verbalen Zuspruch ermutigt. Nachdem die erste Belastung rund eine Minute dauerte kam es im Anschluss zur Regeneration in Form des Eintauchens in kaltes Wasser oder zu einer passiven Erholung außerhalb des Beckens. Die Testpersonen der Behandlungsgruppen erholten sich in

einer halb geneigten Position in einem Kaltwasserbecken (12-15°C) bis zur Höhe des Beckenkammes mit ausgestreckten Beinen. Die Intervention dauerte zehn Minuten und die Wassertemperatur wurde unter Zugabe von Crushed-Ice gehalten und mit einem Quecksilberglasthermometer überwacht. Die Kontrollgruppe ruhte in derselben Position auf einer Matte.

Ergebnisse

Physiologische Reaktionen: Die Herzfrequenz wurde während des Trainings signifikant verändert. Die Post-hoc-Analyse ergab, dass das Eintauchen in kaltes Wasser zu einer niedrigeren Herzfrequenz ($88,8 \pm 5,52$ beats/min) führte und die Hauttemperatur nach der zweiten Belastung im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant niedriger blieb. Abbildung 6 verdeutlicht dies.

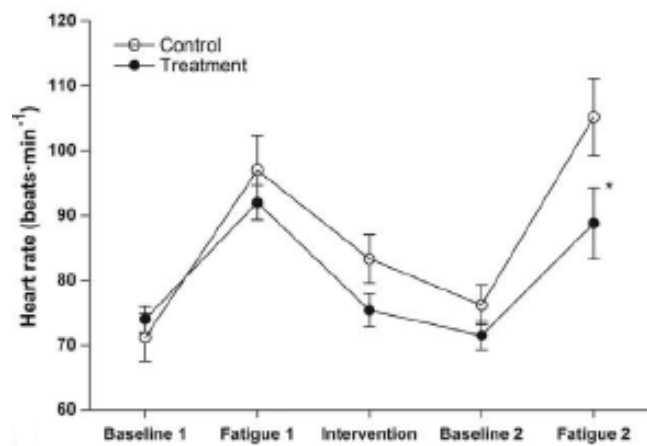


Abbildung 6: Herzfrequenz im Vergleich der beiden Gruppen (Quelle: Yeung et al (2016, S.4))

Muskel-Oxygenierung:

Begriffserklärung: Oxyhämoglobin (HbO) - Sauerstoffreiche Form des Hämoglobins

Desoxyhämoglobin (HHb) - Sauerstoffarme Form des Hämoglobins

Gewebeoxygenierungsindex (TOI): dient der Beurteilung der Oxygenierungsfunktion der Lunge, d.h. ihrer Fähigkeit, das durch sie fließende Blut mit Sauerstoff aufzusättigen.

Bei Δ TOI, Δ HbO_{mean}, und Δ HHb_{mean} ergab sich eine signifikante Änderung. In beiden Gruppen gingen Δ TOI und Δ HbO_{mean} während des ersten Durchgangs deutlich zurück, was mit einem Anstieg von Δ HHb_{mean} einherging. Jedoch wurde die Abnahme von Δ TOI und Δ HbO_{mean} während des zweiten Durchgangs nach der Kaltwasserimmersion, der eine größere Reperfusion (=Wiederherstellung des Blutflusses) und eine Erhöhung der Sauerstoffzufuhr zum Muskel widerspiegelt, signifikant abgeschwächt.

Die Kaltwasserimmersionsgruppe zeigte einen Trend der Verbesserung bei der Reoxygenierung (=erhöhte Sauerstoffversorgung im Gewebe) nach der zweiten Belastung. Kontrollgruppe: Ermüdung 1: $36,5 \pm 5,73$ Sekunden; Ermüdung 2: $35,8 \pm 4,97$ Sekunden und Intervention mit Kaltwasserimmersion: Ermüdung 1: $36,7 \pm 6,20$ Sekunden; Ermüdung 2: $27,9 \pm 3,77$ Sekunden.

Muskelschädigung: Die Selbstbewertung des Muskelkaters wurde mit Hilfe einer zehn Punkte Bewertungsskala („0“ als keine Schmerzen und „10“ als extrem starke Schmerzen) erfasst. Die Bewertungen wurden nach der Belastung am darauffolgenden Tag durch Telefonanrufe vorgenommen. Die Behandlungsgruppe ($2,2 \pm 0,64$) hatte einen geringeren Muskelkater als die Kontrollgruppe ($3,1 \pm 0,64$).

4) J. Ingram, B. Dawson, C. Goodman, K. Wallman und J. Beilby publizierten 2008 eine Studie, in der es darum ging, die Wirksamkeit von Kontrastwasserimmersion (CWT), Kaltwasserimmersion (CWI) und keiner Erholungsbehandlung (diente als Kontrolle) als Methoden zur Erholung nach dem Training einer intensiven Einheit einer Mannschaftssportart zu vergleichen.

Die Probanden dieser Studie waren elf männliche Athleten, deren Durchschnittsalter $27,5 \pm$ sechs Jahre war. Alle Sportler kamen zu diesem Zeitpunkt aus verschiedenen Teamsportarten und waren somit für diese Studie geeignet. Gemessen wurde die wiederholte Sprintfähigkeit, Muskelkraft, Muskelkater und auch Entzündungsmarker über die 48 Stunden nach dem Training. Um Daten für einen Vergleich heranziehen zu können, absolvierten die Probanden drei dreitägige Testversuche, die jeweils um zwei Wochen getrennt waren.

Am ersten Tag wurde die Grundmessung der Leistung (10 x 20m Sprints und isometrische Stärke von Quadrizeps, Oberschenkel und Hüftbeuger) aufgezeichnet. Im Anschluss führten die Sportler einen 80 minütigen Teamsport durch, gefolgt von einem 20m shuttle-run Test. Nach Abschluss dieser Sporteinheit und auch 24h danach wendeten die Probanden eine der Regenerationsinterventionen an. 48h nach diesem Training wurden die Leistungstests wiederholt. Die Dauer der Erholungsmaßnahme betrug 15 Minuten und wurde randomisiert durchgeführt. Kaltwasser-, Kontrastwasserimmersion und passive Regeneration (=Kontrollgruppe) waren die zur Verfügung stehenden Regenerationsmaßnahmen. Die Probanden tauchten bis zum Nabel in das Wasser ein und das CWT-Protokoll bestand aus abwechselnd zwei Minuten im kalten Wasser (10°C) und warmen/heißen Wasser (40°C). Dieser Vorgang wurde dreimal wiederholt und die Transferzeit betrug 30 Sekunden. CWI bestand aus zwei fünf Minuten Tauchgängen, getrennt durch zweieinhalb Minuten aufrecht sitzend bei Raumtemperatur. Die Kontrollgruppe bekam die Anweisung, 15 Minuten ruhig zu sitzen und sich möglichst wenig zu bewegen. Innerhalb der 48 Stunden nach der Ausübung wurden keine zusätzlichen Belastungen durchgeführt.

Selbstbewertung des Muskelkaters des Quadrizeps und Blutmarker von Muskelschäden (CK) und Entzündungen (c-reaktives Protein CRP) wurden vor und unmittelbar nach der Übung sowie 24h und 48h nach dem Training gemessen.

Ergebnisse

Muskelkaterratings waren unmittelbar nach dem Training, 24h und 48 h nach der Belastung signifikant höher als der Ausgangswert. Jedoch gab es auch klar ersichtliche Unterschiede in Bezug auf die Regenerationsmaßnahmen. Die Kaltwasserimmersion hatte im Vergleich zur Kontroll- und zur Kontrastwassergruppe bessere Werte. Dies verdeutlicht Abbildung 7.

	Pre-exercise	Post-exercise	24 h post-exercise	48 h post-exercise
Muscle soreness				
Control	1 ± 0	7 ± 2 ^a	5 ± 1 ^a	5 ± 1 ^a
CWI	1 ± 0	7 ± 2 ^a	4 ± 1 ^{a,b}	4 ± 1 ^a
COLD	1 ± 0	7 ± 2 ^a	3 ± 1 ^{a,b,c}	3 ± 1 ^{a,b}
Serum CK (U L ⁻¹)				
Control	166 ± 75	410 ± 200 ^a	681 ± 720 ^a	391 ± 436 ^a
CWI	172 ± 108	344 ± 161 ^a	582 ± 357 ^a	332 ± 168 ^a
COLD	158 ± 59	315 ± 135 ^a	571 ± 375 ^a	337 ± 218 ^a
Serum CRP (mg L ⁻¹)				
Control	0.5 ± 0.3	0.6 ± .03	2.9 ± 1.7 ^a	1.6 ± 1.0 ^a
CWI	0.6 ± 0.4	0.6 ± 0.4	3.3 ± 3.8 ^a	2.6 ± 2.6 ^a
COLD	0.6 ± 0.4	0.7 ± 0.8	2.5 ± 1.7 ^a	1.4 ± 0.8 ^a

CWI = contrast temperature water immersion. COLD = cold-water immersion.

^a Values are significantly different from pre values ($p < 0.05$).

^b Values are significantly different from control values ($p < 0.05$).

^c Values are significantly different from CWI values ($p < 0.05$).

Abbildung 7: Muskelkater auf einer 10-Punkte-Likert-Skala, Serumkreatinkinase und Serum-c-reaktive Proteinkonzentrationen vor und unmittelbar nach dem Training und 24 h und 48 h nach dem Training ($n = 11$) (Quelle: Ingram et al 2008, S.419)

Ein weiterer wichtiger Punkt sind die Werte der Creatin-Kinase und des c-reaktiven Proteins. Ersteres ist ein Enzym, welches essentiell für den Energiestoffwechsel ist und den Körperzellen Energie für Bewegung und Stoffwechsel bietet. Nach sportlicher Aktivität oder anstrengender Belastung sind bei einer Blutuntersuchung die Creatin-Kinase Werte erhöht, da es zu einer „Beschädigung“ von einzelnen Muskelgruppen kommen kann, wenn man ungewohnter Belastung ausgesetzt ist. Beim Gesamt-CK liegen die Werte bei Männern unter 170 U/l (Units pro Liter = Einheiten pro Liter) im Normalbereich, bei Frauen unter 145 U/l. Stark erhöhte CK-Werte treten auch nach exzessivem und ungewohntem Muskeltraining (vor allem der großen Muskelgruppen) im Fitnessstudio, beim Bodybuilding oder nach Ausdauersport auf.

Das c-Reaktive Protein zeigt Entzündungen im Körper an und gehört zu den rund 30 „Akute-Phase-Proteinen“. C-reaktives Protein findet sich auch im Blut von gesunden Menschen. Sein Gehalt sollte im Normalfall unter 10 Milligramm pro Liter (mg/l) liegen, bei älteren Menschen können die Werte leicht darüber sein. Bei übermäßigem Stress, körperlicher Anstrengung oder Ausdauersport kann das CRP leicht erhöht sein. (lifeline.de)

Serum CK und CRP stiegen laut Abb. 6 in der 48 Stundenperiode nach dem Training unter allen Erholungsmaßnahmen signifikant an und erreichten den Höhepunkt 24 Stunden nach der Belastung. Weiters muss angemerkt werden, dass es zu keinem Zeitpunkt, signifikante Unterschiede zwischen den Regenerationsinterventionen gab.

Bei der ‚Total sprint time‘ ist ersichtlich, dass 48h nach der Übung die Zeiten bei der Kontroll- und Kontrastwassergruppe signifikant langsamer waren und die Zeiten nach einer Kaltwasserimmersion leicht, aber nicht signifikant schneller, verbessert werden konnten (0,23s).

Bei den isometrischen Kraftmessungen wurden bei CWI und der Kontrollgruppe signifikante Kraftverluste nach 48h für Beinstreckung und –flexion festgestellt. Wohingegen nach der Kaltwassertherapie keine signifikante Verschlechterung gemessen wurde. Die Messung der Hüftbeugung zeigte nach dem 48-stündigen Wiederholungstest bei allen drei Erholungsinterventionen einen signifikanten Rückgang. Abbildung 8 fasst die oben genannten Ergebnisse zusammen.

Measure	Treatment	Pre-exercise	48 h Post-exercise	Pre-post difference	Pre-post % difference
Total sprint time (s)	Control	47.93 ± 1.39	48.29 ± 1.25	0.36 ± 0.54	0.75 ± 1.14
	CWI	47.31 ± 1.57	47.80 ± 1.38	0.49 ± 0.43	1.02 ± 0.91
	COLD	48.45 ± 1.92	48.22 ± 1.82	-0.23 ± 0.78 ^{b,c}	-0.50 ± 1.14 ^{b,c}
Best sprint time (s)	Control	4.59 ± 0.17	4.67 ± 0.14 ^a	0.08 ± 0.10	1.69 ± 2.26
	CWI	4.57 ± 0.17	4.64 ± 0.16	0.07 ± 0.12	1.33 ± 2.89
	COLD	4.67 ± 0.21	4.67 ± 0.19	-0.00 ± 0.10 ^b	-0.03 ± 2.26 ^b
Leg extension (kgf)	Control	76.4 ± 13.9	72.2 ± 10.7 ^a	-4.2 ± 5.8	-5.2 ± 8.6
	CWI	76.4 ± 13.6	70.9 ± 13.1 ^a	-6.3 ± 5.3	-9.5 ± 8.1
	COLD	74.6 ± 19.1	73.4 ± 18.5	-1.2 ± 8.4	-2.3 ± 10.0
Leg flexion (kgf)	Control	56.8 ± 11.8	52.7 ± 10.7 ^a	-4.3 ± 4.8	-8.4 ± 8.1
	CWI	57.4 ± 8.5	52.4 ± 8.5 ^a	-4.7 ± 3.0	-9.5 ± 6.6
	COLD	55.9 ± 13.6	55.3 ± 15.9	-0.5 ± 6.0	-2.0 ± 8.2
Hip flexion (kgf)	Control	66.7 ± 7.4	60.7 ± 9.0 ^a	-6.2 ± 4.7	-11.3 ± 8.1
	CWI	69.7 ± 9.6	60.8 ± 11.0 ^a	-7.0 ± 9.1	-11.8 ± 9.6
	COLD	69.6 ± 10.6	63.7 ± 9.9 ^a	-5.9 ± 5.3	-9.6 ± 8.8

CWI=contrast temperature water immersion. COLD=cold-water immersion.

^a Values are significantly different from pre values ($p < 0.05$).

^b Values are significantly different from control values ($p < 0.05$).

^c Values are significantly different from CWI values ($p < 0.05$).

Abbildung 8: Beste Sprintzeit über 20m, Gesamtzeit für 10m x 20m Sprints und isometrische Kraftausgabe für Beinstreckung, Beinbeugung und Hüftbeugung vor und unmittelbar nach dem Training sowie 48 h nach dem Training. (Quelle: Ingram et al 2008, S.420)

5) Bastos, Vanderlei, Nakamura, Bertollo, Godoy, Hoshi, Junior und Pastre (2012) beschäftigten sich in ihrer Studie, in der sie herausfinden wollten, inwiefern sich die folgenden Regenerationsmaßnahmen (Kaltwasserimmersion und aktive Erholung) positiv bezüglich der Blutkonzentration und der Herzfrequenzvariabilität nach einem Training mit hoher Intensität auf 20 regelmäßig Sport treibenden Männern auswirkt. Um die Ergebnisse vergleichen zu können, gab es drei verschiedene Gruppen (Kaltwasser-, aktive Erholungs- und passive

Erholungsgruppe), die unterschiedlich regenerierten. Das Alter der 20 männlichen Sportler betrug zum Zeitpunkt der Studie durchschnittlich 21 Jahre mit einer Standardabweichung von $\pm$ zwei Jahren. Des Weiteren trieben die Probanden regelmäßig Sport (3x pro Woche), waren Nicht-Raucher und nahmen keine Medikamente ein.

Die Tests wurden zwischen 14:00 und 18:00 Uhr durchgeführt und jeder Teilnehmer kam viermal zur gleichen Tageszeit in das Labor. Beim ersten Besuch wurde die VO₂max (max. Sauerstoffaufnahme) und die damit verbundene Geschwindigkeit (MAS) bestimmt. An den restlichen drei Testterminen kam es zur Durchführung vom sog. „constant velocity exhaustive test“ und zur Anwendung verschiedener Wiederherstellungsmethoden, die in 7-Tage-Intervallen getrennt wurden. Außerdem wies man die Testpersonen darauf hin, 24h vor jedem Test auf jegliche Bewegung zu verzichten und keine alkoholischen oder koffeinhaltigen Getränke zu konsumieren. Die letzte Einnahme der Mahlzeit und der Flüssigkeitsverbrauch, mindestens zwei Stunden vor jedem Test, durften sich nicht grundlegend unterscheiden.

Alle Tests wurden in einem ruhigen Labor unter standardisierten Bedingungen (Raumtemperatur: 21-23°C, rel. Luftfeuchtigkeit: 40-60%) durchgeführt und es folgte ein fünfminütiges Joggen (7km/h) als Aufwärmprogramm.

Nach Ankunft im Labor mussten die Probanden 20 Minuten in Rückenlage liegen, um die ruhenden R-R Intervalle aufzuzeichnen. Erst danach folgte das oben genannte Warm-up und anschließend wurde die Laufbandgeschwindigkeit bei jeder einzelnen und individuellen MAS eingestellt und der Sportler lief bis zur gewollten Erschöpfung. Während des gesamten Tests wurde stets eine verbale Ermutigung gegeben. Die Erschöpfung wurde durch die Unfähigkeit, die Trainingsintensität aufrecht zu erhalten oder durch klinische Anzeichen wie Schwindel, Blässe oder Übelkeit bestimmt, begleitet von der Erreichung der maximalen Herzfrequenz, die während des maximalen inkrementellen Tests erreicht wurde. Gleich nach Abschluss des Belastungstests wurden die Probanden drei verschiedenen Erholungsmethoden (getrennt durch 7-Tage-Intervalle) in zufälliger Reigenfolge unterzogen: PR (passive Erholung), AR (aktive Erholung) und CWI (Kaltwasserimmersion). Die Dauer eines jeden Eingriffs betrug sechs Minuten. Während der PR standen die Probanden in aufrechter Position und diese Gruppe diente lediglich als Kontrolle. Innerhalb der ersten Minute nach der Übung konnten die Testteilnehmer ihren Rumpf neigen und ihr Gewicht auf den Handläufen des Laufbandes abstützen.

Bei der AR gingen die Sportler auf dem Laufband mit geringer Intensität (30% der VO₂max) weiter.

Die CWI fand für die Probanden in aufrechter Position, auf einem Niveau, das die vordere obere Beckenwirbelsäule abdeckte, in kaltem Wasser statt. Die Wassertemperatur wurde während der Studie konstant zwischen $11^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ gehalten.

Nach jeder Regenerationsmaßnahme lagen die Athleten rund 80 Minuten in Rückenlage.

Die Blutlaktatkonzentration wurde zwei Minuten vor der Belastung sowie bei 3, 5, 7, 9, 11, 13 und 15 Minuten nach Abschluss des Tests bestimmt.

Ergebnisse

„constant velocity exhaustive test“ Leistung und physiologische Reaktionen:

Es wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dauer des Belastungstests ($15,1 \pm 1,1$ km) unter Berücksichtigung der drei Erholungsmaßnahmen festgestellt. Ebenso wurden am Ende der Tests keine Unterschiede in HR max. gefunden.

Laktatwerte nach dem Training: Zwischen CWI und AR wurden zu keinem Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede gefunden, die in den ersten 15 Minuten der „postexercise recovery“ analysiert wurden. Allerdings zeigten beide Erholungsmodi im Vergleich zur PR einen niedrigeren Wert bei 11, 13 und 15 Minuten nach Trainingerschöpfung.

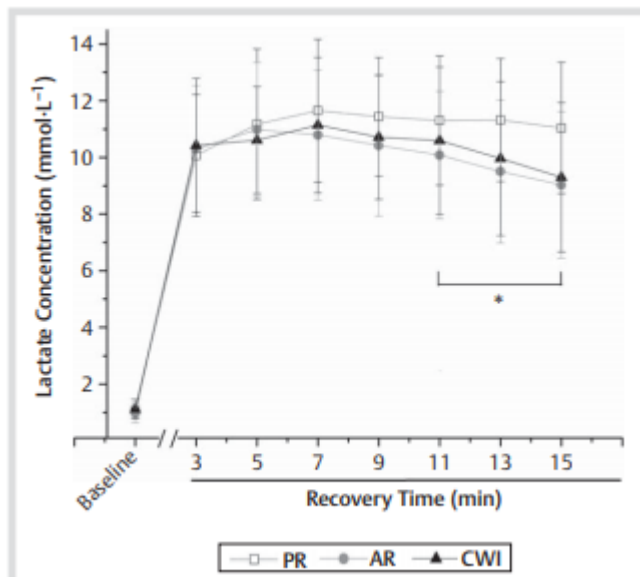


Abbildung 9: Blutlaktatkonzentration im Vergleich (Quelle: Bastos et al. (2012))

Außerdem wurden signifikante Unterschiede in der Zeit bis zum Erreichen des Blutlaktatspitzenwertes zwischen CWI und PR ($6,3 \pm 2,4$ vs. $9,8 \pm 3,1$ min) sowie zwischen AR und PR ($7,13 \pm 2,71$ vs. $9,84 \pm 3,07$) gefunden.

HRV – Indizes

Die Post-Hoc-Analysen ergaben, dass SDNN (Standardabweichung der normalen R-R-Intervalle) mit CWI im Vergleich zur PR nach 15 Minuten signifikant höher war. Darüber hinaus führte die CWI zu mehr SDNN bei Trec (Belastung), 30 und 75 Minuten Erholung im Vergleich zur AR. In Abbildung 10 ist dies deutlich sichtbar.

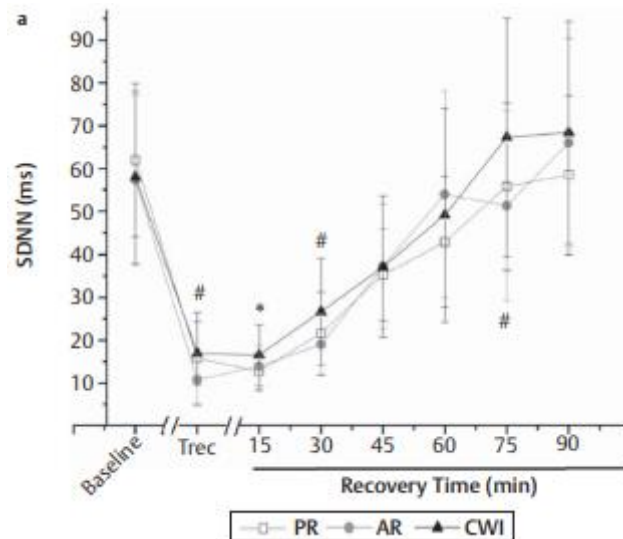


Abbildung 10: Analyse der HFV und Rückmeldung auf eine Standardabweichung der normalen R-R-Intervalle (SDNN) (Quelle: Bastos et al. (2012))

Für alle Frequenzbereichsindizes [lnLF (überwiegend sympathischer Index), lnHF (parasympathischer Index) und LF/HF (sympathovagales(=nicht vergleichbar) Gleichgewicht)] wurde unter den drei verschiedenen Regenerationsmaßnahmen mit Ausnahme von lnHF kein „recoverymode“- Effekt festgestellt.

Bei der Analyse von lnHF wurde eine moderate Effektgröße (ES) zwischen AR und CWI (-1,09), zwischen PR und AR (0,56) bzw. zwischen PR und CWI (-0,58) während Trec gefunden.

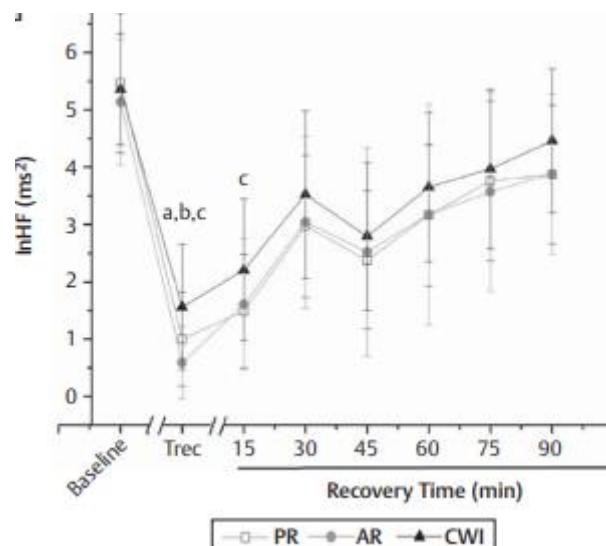


Abbildung 11: Natürlicher Log der Hochfrequenzdichte (Quelle: Bastos et al. 2012)

6) Elias, Wyckelsma, Varley, McKenna und Aughey führten 2013 eine Studie an Fußballprofis durch, deren Ziel die Auswirkung der Erholung durch Eintauchen in kaltes oder warmes Wasser nach einem Fußballspiel war. An der Studie nahmen 24 männliche Athleten aus dem Leistungssport (Fußball) teil und durch eine zufällig ausgewählte Regenerationsmethode, gab es drei verschiedene Arten der Erholung. Eine der drei Gruppen regenerierte in einem Kaltwasserbecken, die andere unterzog sich einer Kontrastwassertherapie und die dritte Gruppe diente als Kontrollgruppe (passive Erholung).

Zum Zeitpunkt der Studie hatten die Sportler ein Durchschnittsalter von $19,9 \text{ Jahren} \pm 2,8 \text{ Jahre}$. Alle 24 Spieler waren zum Zeitpunkt des Regenerationsverfahrens und während der Spielteilnahme frei von Verletzungen und Krankheiten. 90 Minuten vor dem Match, musste jeder Spieler den Grad eines vielleicht bestehenden Muskelkaters und der wahrgenommenen Müdigkeit angeben. Weiters wurde auch die körperliche Leistung, bestehend aus einem statischen Sprung, einem Counter Movement Jump und die Sprintfähigkeit (RSA) 6x20m, gemessen. Diese im Vorfeld gemessene körperliche Leistungsfähigkeit wurde sofort, 24 Stunden und 48 Stunden nach dem Spiel wiederholt. Auch das subjektive Befinden des Muskelkaters und der wahrgenommenen Müdigkeit wurden ebenfalls zu denselben Zeitpunkten aufgenommen.

Vor dem Spiel wurden die 24 Spieler (12 aus jedem Team) für die Teilnahme an der Studie vorselektiert. Die Auswahl basierte auf die Einbeziehung von Spielern aus allen Spielpositionen. Nach Beendigung des Spiels wurden die Athleten nach dem Zufallsprinzip einer der drei Erholungsvarianten zugeordnet: passive Erholung (PAS), Kaltwasserimmersion (CWI) oder der Kontrastwassertherapie (CWT). Ziel war es nun, die Wirksamkeit einer einmaligen Exposition bei 14 Minuten in kaltem und heißem Wasser zu untersuchen. Während der nächsten 48 Stunden unternahmen die Sportler keine weiteren körperlichen Aktivitäten.

Unmittelbar nach Abschluss der psychometrischen und physischen Tests begannen alle Sportler mit ihrer zugewiesenen Erholungsintervention. Dies geschah innerhalb von zwölf Minuten nach Schlusspfeiff. Während der CWI und CWT saßen alle Spieler mit ausgestreckten Beinen im Becken und tauchten bis zu ihrem Brustbein ins Wasser ein. Bei der CWI verbrachten die Probanden 14 Minuten im 12°C kalten Wasser und während der CWT wechselten die Testpersonen zwischen einer Minute Heißwasser (38°C) und einer Minute Kaltwasser (12°C) für sieben Zyklen. Der Wechsel zwischen den zwei Becken betrug drei Sekunden. Eingebaute Thermometer und an den Wannen angebrachte Heiz- und Kühlgeräte kontrollierten und hielten die gewünschte Wassertemperatur aufrecht. Die PAS-Gruppe verweilte 14 Minuten mit minimaler Bewegung in einer ähnlichen Haltung wie die eingetauchte Gruppe.

Ergebnisse

Gleich nach Spielende zeigten alle Gruppen einen ähnlich erhöhten Muskelkater und eine verminderte körperliche Leistungsfähigkeit. Die Messwerte beim Counter Movement Jump gingen bei allen zurück und auch die Sprint-Performance verschlechterte sich bei jeder Gruppe erheblich.

Auswirkungen der Genesung auf wahrgenommenen Muskelkater und Müdigkeit: Tabelle 1 verdeutlicht den positiven Effekt einer Kaltwasserimmersion, da hier die Werte bezüglich Muskelkaterrating und Müdigkeit während der 48-stündigen Erholungsphase deutlich besser sind als bei der CWT oder der PAS.

Measure	Group	Prematch mean $\pm$ SD	Postmatch		1 h		24 h		48 h	
			Mean $\pm$ SD	Effect size	Mean $\pm$ SD	Effect size	Mean $\pm$ SD	Effect size	Mean $\pm$ SD	Effect size
Muscle soreness	PAS	2.1 $\pm$ 0.8	6.6 $\pm$ 1.6	5.32 $\pm$ 1.24	6.6 $\pm$ 1.7	5.32 $\pm$ 1.29	7.5 $\pm$ 1.4	6.40 $\pm$ 0.83	5.5 $\pm$ 1.6	4.01 $\pm$ 0.97
	COLD	2.3 $\pm$ 0.7	6.7 $\pm$ 1.4	5.42 $\pm$ 1.59	4.5 $\pm$ 1.0	2.74 $\pm$ 1.01	4.7 $\pm$ 0.7	2.99 $\pm$ 0.62	2.8 $\pm$ 0.7	0.59 $\pm$ 0.10
	CWT	2.3 $\pm$ 0.7	7.2 $\pm$ 1.7	6.37 $\pm$ 1.46	6.3 $\pm$ 1.3	5.21 $\pm$ 1.36	6.5 $\pm$ 0.7	5.46 $\pm$ 0.90	4.1 $\pm$ 0.7	2.39 $\pm$ 0.29
Perceived fatigue	PAS	2.2 $\pm$ 1.0	7.0 $\pm$ 1.2	4.40 $\pm$ 0.77	6.8 $\pm$ 1.3	4.20 $\pm$ 0.80	6.4 $\pm$ 1.2	3.85 $\pm$ 0.80	4.3 $\pm$ 1.5	1.91 $\pm$ 0.67
	COLD	2.2 $\pm$ 0.9	7.1 $\pm$ 1.0	4.89 $\pm$ 1.32	5.3 $\pm$ 1.4	3.12 $\pm$ 0.92	3.9 $\pm$ 1.6	1.67 $\pm$ 0.78	3.2 $\pm$ 1.2	1.02 $\pm$ 0.72
	CWT	2.3 $\pm$ 1.2	7.5 $\pm$ 1.5	3.90 $\pm$ 0.76	6.0 $\pm$ 1.7	2.80 $\pm$ 0.92	5.3 $\pm$ 1.3	2.25 $\pm$ 0.69	3.9 $\pm$ 1.4	1.22 $\pm$ 0.38
Total sprint time, s	PAS	18.66 $\pm$ 0.37	19.14 $\pm$ 0.28	1.15 $\pm$ 0.40	—	—	19.39 $\pm$ 0.29	1.74 $\pm$ 0.58	19.02 $\pm$ 0.35	0.87 $\pm$ 0.55
	COLD	18.50 $\pm$ 0.47	19.14 $\pm$ 0.67	1.19 $\pm$ 0.55	—	—	18.54 $\pm$ 0.41	unclear	18.50 $\pm$ 0.59	unclear
	CWT	18.68 $\pm$ 0.39	19.22 $\pm$ 0.46	1.19 $\pm$ 0.34	—	—	18.99 $\pm$ 0.44	0.68 $\pm$ 0.16	18.85 $\pm$ 0.44	0.36 $\pm$ 0.15

Abbildung 12: Rating der Spieler über Muskelkater und wahrgenommene Müdigkeit zu verschiedenen Zeitpunkten (Quelle: Elias et al (2013))

Im Vergleich zur passiven Erholung (PAS) waren sowohl CWI als auch CWT wirksamer bei der Linderung des Muskelkaters nach 24 und 48 Stunden der Belastung. Die ‚Total sprint time,s‘ weist ebenfalls darauf hin, dass Spieler, die im Kaltwasserbecken regenerierten, bereits 24 Stunden nach dem Fußballmatch auf ihrem Ausgangswert waren und somit schneller fit waren als die PAS- und CWT-Gruppe.

Die Kaltwasserimmersion war, verglichen mit PAS und CWT, mit Abstand die beste Regenerationsmaßnahme, da sowohl das subjektive Befinden der Spieler in Bezug auf Muskelkater und Müdigkeit als auch die Sprintzeiten und Sprünge bessere Ratings hatten.

7) Rupp, Selkow, Parente, Ingersoll, Weltman und Saliba publizierten 2012 eine randomisierte und kontrollierte Laborstudie, in der es darum ging, die Wirksamkeit von Kaltwasserimmersion (CWI) als Methode zur Erholung nach einem wiederholten Yo-Yo-Intervall-Recovery-Test (YIRT) und einem Counter Movement Vertical Jump (CMVJ) zu untersuchen. Dieser YIRT ist ein weitverbreitetes Tool, welches zur Bewertung der körperlichen Leistung im Fußball herangezogen wird, getrennt durch 48 Stunden.

Die Teilnehmer/innen der Studie spielten in der Division I College und nahmen während dem Frühjahr teil, da zu dieser Zeit noch keine Meisterschaft stattfand. Die Sportler/innen, die sich aus 13 Männern und neun Frauen zusammensetzten, waren bereits im Voraus schon mit der Kaltwasserimmersion (CWI) vertraut und nutzten diese Erholungsform als Wiederherstellungsmodalität. Personen, die eine Verletzung der unteren Extremitäten hatten und keine volle Teilnahme innerhalb der letzten sechs Wochen bestritten, kälteempfindlich, vermindertes Hautgefühl oder offene Wunden hatten, konnten an der Studie nicht teilnehmen. Änderungen in der normalen Routine der Athleten/innen gab es so gut wie keine, da sie ein ähnlich intensives Teamtraining und Krafttraining absolvierten und es keinen wirklichen Unterschied zum Training während der Meisterschaft gab. Lediglich beim Leistungstest und der Regenerationsmaßnahme gab es Unterschiede.

Die 22 Sportler/innen hatten während der Studiendauer ein Durchschnittsalter von 19,8 Jahren $\pm 1,1$ Jahre. Die Zuteilung zu den Gruppen fand zufällig statt und keine/r wusste im Vorhinein, ob er/sie anfangs zur CWI- oder Kontrollgruppe zugeteilt wird. Jede Gruppe führte jedoch beide Interventionen durch, die aber durch 24h getrennt waren.

Die Fußballspieler/innen sind sowohl mit dem YIRT als auch mit dem CMVJ vertraut und vor jedem YIRT absolvierten die Testpersonen einen maximalen CMVJ. Die Stehhöhe der Testpersonen wurde aufgezeichnet und im Anschluss mussten sie die höchstmögliche Schaufel berühren und der Beste aus drei Versuchen wurde gewertet. Den YIRT führten die Athleten/innen an zwei Testtagen durch, die aber durch 48 Stunden getrennt waren. Das Testprotokoll beinhaltete mehrere 2x20m lange shuttle runs, die durch zwei separate Marker/Hütchen entsprechend dem Timing auf einem Tonband definiert wurden. Das Ziel war es, die Marker bei jedem Signal zu berühren und die Frequenz der Tonsignale erhöhte sich immer wieder. Dies hatte zur Folge, dass auch die Laufgeschwindigkeit der Athleten schneller wurde und wenn eine Testperson auf zwei aufeinanderfolgende Signale die Marker nicht mehr erreichen konnte, endete für sie der Test und die Werte konnten nun niedergeschrieben werden. Das subjektive Befinden bzgl. der wahrgenommenen Anstrengung der Fußballspieler/innen wurde mit Hilfe der Borg-Skala aufgezeichnet, um den Grad der willentlichen Ermüdung zu beurteilen. Innerhalb von fünf Minuten nach Abschluss des shuttle runs wurde der CMVJ neu durchgeführt und im Anschluss wurden die Probanden angewiesen zu duschen und ihre zugewiesene Regenerationsmaßnahme durchzuführen. Noch kurz vor der Erholungsphase erhielten die Sportler/innen eine visuell analoge Skala (VAS) und wurden aufgefordert, die persönlich wahrgenommene Müdigkeit in den Beinen zu markieren. Die verwendete VAS war eine zehn Zentimeter lange horizontale Linie mit einem linken Pfeil von „überhaupt nicht

müde“ und einem rechten Pfeil von „sehr müde“. Wie bereits oben erwähnt, wurde nach dem Zufallsprinzip in die Kontrollgruppe (passive Ruhephase) oder die Kaltwasserimmersionsgruppe zugeteilt. Bei der CWI tauchten die Spieler/innen ihre unteren Extremitäten bis zum Nabel in eine kalte Wanne. Die Dauer betrug 15 Minuten und die Temperatur des Wassers konnte auf 12°C konstant gehalten werden. Die Kontrollgruppe hingegen saß die 15 Minuten in aufrechter Position da und bewegte sich möglichst gering. Als die Interventionen an diesem Tag beendet wurden, durften die Testpersonen bis zur Wiederholung des Tests, ihren normalen Aktivitäten des täglichen Lebens nachgehen. Bei der 24-Stunden-Postimmersion kehrten die Probanden zurück und es wurde eine VAS durchgeführt. Danach kam es zu einer zweiten 15-minütigen Erholungsphase (CWI oder PAS), die sich von der ersten Sitzung nicht unterschied. Erst bei der 48-Stunden-Postimmersion wiederholten die Athleten/innen die oben beschriebenen Prozeduren (CMVJ, YIRT, VAS).

Ergebnisse

Es gab zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen der CWI- und der Kontrollgruppe. Lediglich unmittelbar nach dem YIRT konnte bei beiden Gruppen bessere Sprunghöhen beim CMVJ festgestellt werden. Dies verdeutlicht die Tabelle unten.

Tabelle 1: Effekte der passiven Erholung und der CWI in Bezug auf den CMVJ (Quelle: Rupp et al. 2012)

	Control	CWI
Initial	64.4 ± 10.70	64.7 ± 11.7
Immediate post-exercise	67.4 ± 12.3	65.5 ± 10.0
24 hours after exercise	63.0 ± 10.4	63.7 ± 9.8
48 hours after exercise	62.4 ± 10.4	63.7 ± 8.8

*Mean distance in centimeters ± SD. Analysis of variance revealed a main effect over time ($p < 0.05$) but no significant group differences.

Tabelle 2 und 3 geben Auskünfte über den YIRT und die VAS, jedoch gab es keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 3: Effekte der passiven Erholung und der CWI bzgl. des YIRT (Quelle: Rupp et al. 2012)

	Control	CWI
Initial	4904 ± 887	5173 ± 857
48 hours after exercise	4900 ± 884	5288 ± 1000

*Mean distance in meters ± SD. Analysis of variance revealed no significant main effects or group by time interaction.

Tabelle 2: Subjektives Befinden der Sportler/innen bzgl. der wahrgenommenen Müdigkeit der unteren Extremitäten (Quelle: Rupp et al. 2012)

	Control	CWI
Immediate postexercise	5.6 ± 1.9	4.9 ± 2.3
24 hours after exercise	5.6 ± 2.8	4.4 ± 1.9
48 hours after exercise	9.4 ± 0.51	9.3 ± 0.61

Die wahrgenommene Müdigkeit nach 24h wurde von den Testpersonen der CWI, verglichen mit der Kontrollgruppe, für nicht ganz so stark empfunden und hatte dadurch etwas bessere

Werte. Wohingegen beim Rating nach 48 Stunden keine signifikanten Unterschiede sichtbar waren.

8) Rey, Lago-Peñas, Casáis und Lago-Ballesteros arbeiteten 2012 an ihrer Studie, um die Wirksamkeit von aktiven und passiven Erholungsinterventionen unmittelbar nach einer Trainingseinheit mit anaeroben Belastungen zu untersuchen. Auswirkungen bezüglich der Flexibilität der unteren Extremitäten 24h nach dem Training wurde anhand bestimmter Übungen ebenfalls bestimmt.

Die Probanden dieser Studie waren 31 männliche Fußballprofis im Alter von $23,5 \text{ Jahren} \pm 3,4 \text{ Jahre}$. Ein typisches Training dieser Spieler beinhaltete fünf bis sieben Übungen im Team (90-120min) und sie hatten eine Gesamttrainingsbelastung von rund acht bis zehn Stunden pro Woche. Durch diese Informationen war eine adäquate und spezifische Vorbereitung möglich. Da sich aber die physische Belastung der Torhüter von den anderen zehn Mitspielern unterscheidet, wurden die Keeper nicht in diese Studie miteinbezogen.

Zu Beginn der Studie wurden die Probanden mit einer 250ml Wasserflasche versorgt, die sie vor, während und nach der Belastung trinken durften. Die Nahrungsaufnahme wurde für alle teilnehmenden Fußballer während dieser Testperiode standardisiert und von einer Ernährungsberaterin überwacht.

An zwei aufeinanderfolgenden Tagen gab es jeweils zwei Tests, die im Freien auf einem Fußballplatz bei einer Temperatur von $21 \pm 4^\circ\text{C}$ und Luftfeuchtigkeit von $73 \pm 8\%$ stattfanden. Die Sportler mussten sich am Morgen des Tests in einem ausgeruhten Zustand präsentieren und in der ersten Einheit wurden Messungen, bestehend aus zwei Tests (Pre- und Posttests), zur Bestimmung der Physis durchgeführt. In Abbildung 13 ist dies ersichtlich.

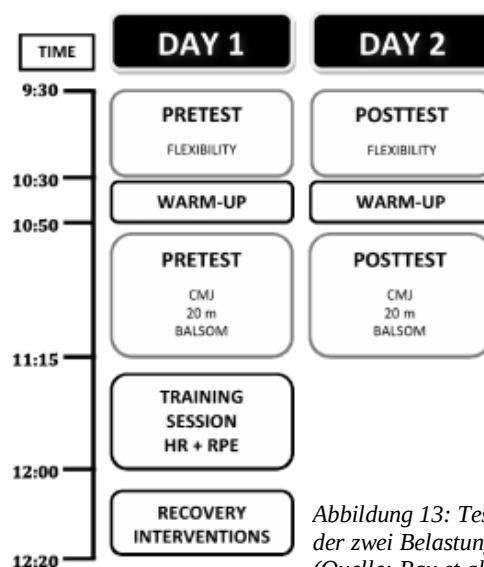


Abbildung 13: Testverlauf der zwei Belastungstage (Quelle: Ray et al. 2012)

Im Anschluss dieser zwei Pretests führten alle Athleten ein gewohntes Fußballtraining von 45 Minuten durch, einschließlich einer 15-minütigen intermittierenden Maximalintensitätsübung (20 x 30m Sprints mit 30-sekündiger Ruhephase). Ein weiterer Teil des Trainings war eine Ausdauerübung im aeroben Bereich bei der Spielform 5 vs. 5 (40 x 50m) mit einer Dauer von 4x4min und zwischenzeitlich gab es immer eine 3-minütige aktive Erholung. Um sicherzustellen, dass die Trainingsbelastung zwischen Versuchs- und Kontrollgruppen nicht variiert, wurde die Herzfrequenz (HR) der Spieler während der gesamten Trainingseinheit aufgezeichnet und die Spieler wurden gebeten, die wahrgenommene Anstrengung auf einer 15-Punkte-Borg-Skala zu bewerten. Am Ende dieser Einheit gab es eine zufällige Zuteilung zu den Regenerationsmaßnahmen (AR=15; PAS=16).

Nach diesem ersten Trainingstag, gab es auch noch einen zweiten, um die Post-Test-Werte zu erhalten und die Sportler führten den gleichen Test wie am Tag zuvor durch. Dies ist ebenfalls in Abbildung 13 abzulesen.

Die Erholungsphase der aktiven Regeneration bestand aus einem 12-minütigem submaximalen Lauf (65% der max. Laufgeschwindigkeit) und einem 8-minütigem statischen Dehnen, welches drei bilaterale Wiederholungen von je 30-sekündigem Halten beinhaltete (zur Kniekehle, zum Quadriceps, zum Gastrocnemius und zu den Adduktorenmuskeln).

Bei der passiven Erholung saßen die Athleten 20 Minuten auf einer Bank und bewegten sich so wenig wie möglich.

Ergebnisse

Es gab keine signifikanten Unterschiede während des Trainings bei der RPE und HR zwischen den Gruppen. Die durchschnittliche HR für PASS und AR war ähnlich (166 ± 6 und 164 ± 6 b x min⁻¹). Insgesamt zeigen die RPE- und HR-Werte die relativ hohe Intensität des Trainings und die Homogenität der Trainingsbelastung zwischen aktiver und passiver Gruppe.

Effekte der Erholungsinterventionen

Zu Beginn der Studie gab es keine signifikanten Unterschiede in den absoluten Werten für CMJ, 20 m Sprint, Balsom-Agilitätstest und Flexibilität zwischen aktiven und passiven Erholungsgruppen. Bei den anaeroben Leistungen wurde kein signifikanter Effekt aufgrund von Erholungsinterventionen gefunden, mit Ausnahme des CMJ, bei dem der Posttestwert in der aktiven Erholungsgruppe signifikant höher war als in der passiven Gruppe.

Mittelwerte und Standardabweichungen für die Flexibilitätsmessungen sind in Tabelle 3 dargestellt. Für beide Gruppen zeigten die Posttest-Werte eine geringere mittlere Flexibilität im

Quadrizepsmuskel. Im Vortest gab es einen signifikanten Unterschied in den absoluten Werten für die Muskelflexibilität der Hamstrings zwischen aktiven und passiven Erholungsgruppen. Es wurde kein signifikanter Effekt aufgrund von Erholungsinterventionen bei der Flexibilität der unteren Extremitäten gefunden.

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Flexibilität des Quadrizeps, des hinteren Oberschenkels, des Adduktors und des Gastrocnemius (ausgedrückt in Grad) (Quelle: Rey et al. (2012))

	N	Pretest (Baseline)	Posttest (24 h after training)
Quadriceps (°)			
Active Recovery	15	130.1 ± 7.0* (-0.29)	127.2 ± 6.7 (-0.42)
Passive Recovery	16	132.2 ± 7.3*	129.9 ± 6.2
Hamstring (°)			
Active Recovery	15	79.4 ± 7.1 [‡] (-0.94)	79.3 ± 8.1 (-0.48)
Passive Recovery	16	86.2 ± 7.3	83.3 ± 8.0
Adductor (°)			
Active Recovery	15	41.2 ± 7.8 (-0.23)	40.1 ± 5.9 (-0.49)
Passive Recovery	16	42.7 ± 4.4	42.7 ± 4.4
Gastrocnemius (°).			
Active Recovery	15	26.6 ± 6.9 (0.27)	25.5 ± 4.3 (-0.15)
Passive Recovery	16	25.1 ± 3.4	26.1 ± 3.2

**Significant differences ($p < 0.05$) with posttest.*

[‡]Significant differences ($p < 0.05$) with passive recovery group.

ES (with respect to passive recovery group values) are shown in parentheses.

Betrachtet man Tabelle 5 schneidet die aktive Erholungsgruppe etwas besser ab als die passive Gruppe. Beim Posttest des CMJ's konnten die Werte sogar verbessert werden, wohingegen die Personen, die eine komplette Ruhephase einlegten sich beim CMJ und Balsom Agilitätstest verschlechterten und sich lediglich beim 20 Sprint geringfügig verbesserten. Die Probanden, die sich aktiv erholten, hielten die Sprintwerte aufrecht und beim Balsom Agilitätstest fielen die Werte minimal ab.

Tabelle 5: CMJ Höhe, 20 m Sprint Zeit und Balsom Agility Test Zeit für die aktive Recovery-Gruppe und passive Gruppe zu Beginn der Studie und 24 Stunden nach der Trainingseinheit (Quelle: Rey et al. 2012)

	N	Pretest (Baseline)	Posttest (24 h after training)
CMJ (cm)			
Active Recovery	15	41.3 ± 4.4* (0.21)	42.6 ± 3.9 [‡] (0.94)
Passive Recovery	16	40.5 ± 3.1	39.2 ± 3.3
Balsom Agility Test (s)			
Active Recovery	15	11.15 ± 0.57 (0.03)	11.03 ± 0.69 (-0.09)
Passive Recovery	16	11.13 ± 0.58	11.09 ± 0.61
20 m sprint (s)			
Active Recovery	15	3.12 ± 0.11 (0.19)	3.12 ± 0.11 (0.01)
Passive Recovery	16	3.10 ± 0.09	3.12 ± 0.08

**Significant differences ($p < 0.05$) with posttest.*

[‡]Significant differences ($p < 0.05$) with passive recovery group.

ES (with respect to passive recovery group values) are shown in parentheses

9) Costello, Algar und Donnelly führten 2012 eine Studie durch, deren Ziel es war, die Auswirkungen der Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) auf propriozeptive Funktion, Muskelkraftherholung nach exzentrischen Muskelkontraktionen und Mittelohr-Temperatur (TTY) zu untersuchen. 36 Personen wurden zufällig einer Gruppe zugeteilt, die zwei 3-minütige Behandlungen von $-110 \pm 3^{\circ}\text{C}$ oder $15 \pm 1^{\circ}\text{C}$ erhielt. „Knee joint position sense“ (JPS), maximale willkürliche isometrische Kontraktion (MVIC) der Knieextensoren, Kraft-Propriozeption und TTY wurden vor, unmittelbar nach der Exposition und 15 Minuten danach aufgezeichnet. Eine Stichprobe von 18 Probanden unterzog sich ebenfalls einem exzentrischen Übungsprotokoll ihres kontralateralen linken Beines 24 Stunden vor der Exposition. MVIC (linkes Knie), Spitzenleistungsabgabe (PPO) während eines wiederholten Sprints auf einem Fahrradergometer und Muskelkater wurden vor, 24, 48 und 72 Stunden nach der Behandlung gemessen.

Die 39 Testpersonen waren fitte und gesunde Menschen, die ein Durchschnittsalter von $20,8 \text{ Jahren} \pm 1,2 \text{ Jahre}$ hatten. Nach dem Zufallsprinzip wurden die Probanden in zwei Gruppen (Ganzkörper-Kryotherapie u. Kontrollgruppe) eingeteilt und pro Gruppe befanden sich jeweils 6 Frauen und 12 Männer. Ausgeschlossen wurden im Vorhinein bereits jene, die in den vergangenen 12 Monaten Verletzungen der unteren Gliedmaßen, Ohren oder vestibuläre Zustände hatten. Ein weiterer Aspekt, der zur Teilnahme berechtigte war, dass man durchschnittlich 3x pro Woche körperlich aktiv sein musste und 24h vor dem Test keinen Koffein oder Alkohol zu sich nehmen durfte.

Die aktuelle Studie war eine randomisierte kontrollierte Studie mit zwei unabhängigen Variablen. In Experiment 1 der Studie (propriozeptive Schärfe nach WBC) waren diese Variablen die Zeit (Messbasis, sofort danach und 15 min nach der Intervention) und die Behandlungsgruppen (3 min WBC und eine Kontrollgruppe).

In Experiment 2 dieser Studie (die Auswirkungen von WBC auf Muskelkraftherholung nach exzentrischen Übung) wurde eine Stichprobe von 18 Freiwilligen (neun von jeder Gruppe) aus den ursprünglichen 36 Probanden rekrutiert. In ähnlicher Weise gab es auch hier zwei unabhängige Variable für diese Komponente der Studie, einschließlich der Zeit (Grundmessung, 24, 48 und 72 h nach der Behandlung) und den Behandlungsgruppen (3 min WBC und eine Kontrollgruppe).

Die wichtigsten Ergebnismessungen von Experiment 1, basierend auf der rechten Extremität (Knie), war ein Knie-JPS, max. freiwillige isometrisch Kontraktion (MVIC) und Muskelkraftreproduktion des rechten Kniestreckers und TTY (Mittelohrtemperatur). Die Hauptegebnismessungen von Experiment 2, bei dem 18 Teilnehmer 24 Stunden vor der

Behandlung eine exzentrische muskelschädigende Übung an ihrem kontralateralen linken Extremität (Knie) durchführten, waren MVIC, Muskelschädigung und eine Spitzenleistung (PPO), die während wiederholter Sprints auf einem Fahrradergometer aufgezeichnet wurde.

Die Teilnehmer dieser Studie wurden im Anschluss der Belastung in zwei Gruppen geteilt. Entweder diente ein Kältezimmer (Kontrollgruppe) von $15 \pm 3^\circ\text{C}$ als Regenerationsmaßnahme oder eine Behandlung in einer Kryokammer. Diese Kryotherapie fand in zwei Räumen statt, die temperaturgesteuert waren. Die Probanden betraten den Raum mit $-60 \pm 3^\circ\text{C}$ nur für 30 Sekunden, bevor sie den Zweiten ($110 \pm 3^\circ\text{C}$) für drei Minuten betraten. Die Testpersonen beider Gruppen wurden aufgefordert sich während dieser drei Minuten leicht zu bewegen und als Schutz trugen sie kurze Shorts (Männer ab der Taille nichts, Damen einen Sport-BH), Stirnbänder, Handschuhe, Schuhe (mit Socken) und einen Mundschutz, der auch die Nase bedeckte.

Bereits zwei Stunden nach der ersten Intervention wiederholten die Probanden ihre Behandlung. Bezüglich der Knie-JPS oder der MVIC und der Kraftreproduktion wurden die Testpersonen per Zufallsprinzip ausgewählt und die restlichen Tests fanden dann anschließend nach dem zweiten Kältebesuch statt. Die Basistests, wie oben erwähnt, wurden unmittelbar vor der Exposition der Kammer durchgeführt und die Post-Tests folgten kurz danach (innerhalb 2-3 Minuten) und erneut 15 Minuten später.

Ergebnisse

Testphase 1

Auswirkungen der WBC auf die Propriozeption: In Tabelle 6 werden die absoluten, variablen und relativen Winkelfehler für beiden Gruppen dargestellt. Es gab keine signifikanten Unterschiede. Ebenso war die Fähigkeit der Teilnehmer, entweder 25% oder 50% ihres MVIC's zu reproduzieren, mit visuellem und verbalem Feedback deutlich besser als ohne. Betreffend der Gruppenzeitdifferenzen gab es keine Divergenz.

Tabelle 6: Vergleich von absoluten, relativen und variablen Winkelfehlern des rechten Kniegelenks (Quelle: Costello et al. 2012)

	Pre-test (n = 18)		3 min post (n = 18)		20 min post (n = 18)	
	Cold	Control	Cold	Control	Cold	Control
Absolute error						
10-30°	2.1 ± 2.2	2.1 ± 1.3	2.7 ± 1.7	2.3 ± 1.3	2.6 ± 2.2	2.4 ± 1.9
30-60°	4.4 ± 3.0	3.0 ± 2.0	5.2 ± 2.4	2.9 ± 2.0	4.8 ± 2.5	2.8 ± 1.8
60-90°	3.9 ± 2.0	2.4 ± 2.4	3.7 ± 2.5	1.5 ± 1.0	2.8 ± 1.7	1.7 ± 1.4
Relative error						
10-30°	1.5 ± 2.6	-0.4 ± 2.4	2.0 ± 2.5	0.6 ± 2.6	1.1 ± 3.3	0.4 ± 3.0
30-60°	4.0 ± 3.5	1.9 ± 3.1	5.2 ± 2.4	1.7 ± 3.0	3.7 ± 4.2	1.5 ± 3.0
60-90°	3.4 ± 2.6	1.6 ± 3.0	3.5 ± 1.1	1.1 ± 1.4	2.2 ± 2.4	0.7 ± 2.1
Variable error						
10-30°	1.0 ± 0.7	1.1 ± 0.7	1.0 ± 0.7	1.3 ± 0.8	1.2 ± 0.7	1.2 ± 0.6
30-60°	1.9 ± 0.8	2.5 ± 0.9	1.7 ± 0.9	1.3 ± 0.9	4.2 ± 0.8	1.2 ± 0.8
60-90°	1.6 ± 1.1	1.3 ± 0.8	1.4 ± 0.9	0.8 ± 0.5	1.7 ± 0.6	0.7 ± 0.8

Values are means ± SD for cold (n = 18) and control (n = 18). A negative value (-) represents an under estimation.

Mittelohr-Temperatur: Die Ausgangswerte für die Kälte- und Kontrollgruppe lagen bei $36,9 \pm 0,3^\circ\text{C}$ und $36,8 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Der Vergleich der Veränderung gegenüber dem Ausgangswert beider Gruppen ergab einen signifikanten Temperaturunterschied bei 3min und 8min nach der Kältekammer. Der niedrigste Wert wurde 8min nach Verlassen der Kammer gemessen und 22 Minuten nach der Behandlung stieg die Temperatur wieder auf $36,8 \pm 0,4^\circ\text{C}$. Die Kontrollgruppe (Kältezimmer) hat sich im Laufe der Zeit nichts verändert.

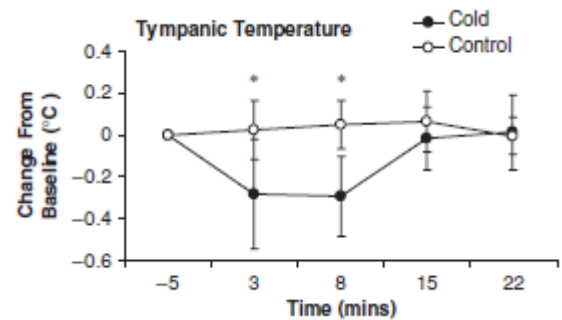


Abbildung 14: Vergleich der Mittelohr-Temperatur (Quelle: Costello et al. 2012)

Testphase 2

Effekte der WBC auf die Muskelregeneration nach exzentrischem Training: MVIC sank unmittelbar nach der Belastung signifikant von 806 ± 138 auf 483 ± 122 N und erholte sich an Tag 5 auf $98,7 \pm 12,3\%$ des Ausgangswertes. Die WBC Behandlung hatte keinen Einfluss auf die MVIC im Vergleich zur Kontrollgruppe in den Tagen nach der Behandlung. Auch PPO war

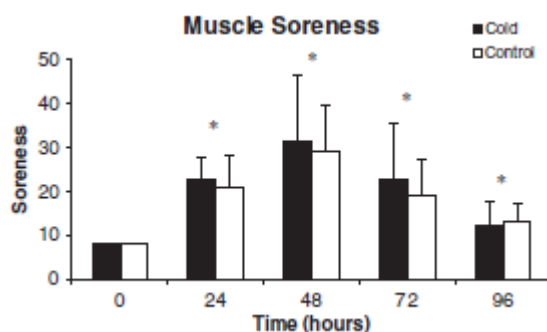


Abbildung 15: Muskelkater rating der Probanden im Vergleich (Quelle: Costello et al. 2012)

von der Intervention nicht betroffen. Des Weiteren gab es keine signifikanten Veränderungen im subjektiven Befinden bzgl. des Muskelkaters.

10) Khamwong, Paungmali, Pirunsan und Joseph publizierten 2015 eine Studie, in der es darum ging, die prophylaktische Wirkung der Sauna auf die Symptome, die mit Muskelschäden durch exzentrische Übungen der Handgelenksstreckmuskulatur verbunden sind, zu untersuchen. Hohe Intensität der Einheit oder ungewohnte exzentrische Übungen können das Phänomen der übungsinduzierten Muskelschädigung (EIMD) verursachen, die normalerweise zu Krämpfen, Muskelzerrungen, gestörter Muskelfunktion und verzögertem Muskelkater führt.

Diese Studie berücksichtigte sowohl den Faktor Zeit (Veränderungen der Probanden bzgl. ihrer Grundmesswerte über den Testzeitraum) als auch den Faktor der Bedingungen (Unterschiede zw. Kontroll- und Saunagruppe).

Insgesamt nahmen 28 männliche Personen mit einem Durchschnittsalter von $20,9 \pm 1,6$ Jahre teil. Neurologische Erkrankungen oder Verletzungen der oberen Extremitäten durften die Teilnehmer dieser Studie nicht aufweisen und drei Monate vor Beginn der Studie war jegliche Form des Armwiderstandstrainings nicht gestattet. Durch eine Zufallsgenerierung wurden die Testpersonen in zwei gleichgroße Gruppen aufgeteilt und jede bekam eine jeweils unterschiedliche Regenerationsmaßnahme zugeteilt. Alle Versuchspersonen wurden über das Verfahren informiert und vor dem Start der Studie wurden schriftliche Einwilligungen eingeholt.

Noch bevor es zur übungsindizierten Muskelschädigung (EIMD) kam, musste die Saunagruppe einen 15-minütigen Saunagang durchführen. Die Temperatur lag zwischen $76,67-82,22^{\circ}\text{C}$ bei einer Luftfeuchtigkeit von 15-30%. Erst im Anschluss wurde auf einem Contrex Dynamometer getestet und der zu testende Unterarm wurde in 90° -Position auf die Griffleiste des Dynamometers gelegt. Die Probanden wurden gebeten, der Bewegung des Dynamometers von der Handgelenksexension bis zur Handgelenkbeugung maximal entgegenzuwirken. Verbale Ermutigung und ein Bildschirm, auf dem die Widerstandskraft ersichtlich war, sollten dabei helfen sich maximal anzustrengen und diente als Motivation für die Testpersonen. Das Übungsprotokoll beinhaltete fünf Sätze und in jedem Satz mussten die Versuchspersonen 60 Wiederholungen in fünf Minuten absolvieren. Zwischen jedem Satz gab es eine 1-minütige Ruhezeit. Drehmomenthöchstleistung und die Gesamtarbeit während der exzentrischen Übung der Probanden wurde mit dem Softwareprogramm des Contrex Dynamometers erfasst.

Alle zu testenden Variablen wurden zu Beginn, unmittelbar nach der EIMD und für die nächsten acht aufeinanderfolgenden Tage gemessen. Zusätzlich wurden auch der Blutfluss und die Hauttemperatur jedes Probanden für eine Dauer von fünf Minuten vor Beginn des Experiments aufgezeichnet, um als Basisdaten zu dienen und diese nach Abschluss des Experiments vergleichen zu können.

PI (Schmerzintensität) und PPT (Druckschmerzschwelle) wurden als Ergebnisgrößen quantifiziert und mit Hilfe einer analogen und visuellen Skala (VAS), konnten die Probanden die Schmerzintensität bewerten. PPT wurde durch eine inkrementelle Erhöhung der Druckreize mit einer Frequenz von 30 kPa/s quantifiziert und die Testpersonen wurden angewiesen, den Knopf des Kontrollschalters zu drücken, um den Schmerz zu melden. Der passive Bewegungsumfang von Handgelenkbeugung (PF-ROM) und Extension (PE-ROM), Grip Strength (GS) und die Handgelenksstreckung (WES) wurden als Ergebnisgrößen der Handgelenksstreckmuskelfunktion herangezogen. Ein Elektrogoniometer wurde zur Messung des schmerzfreien passiven Bewegungsumfangs am Handgelenk eingesetzt.

Alle Messungen wurden 3x mit einer Minute zwischen den Versuchen durchgeführt und der Mittelwert wurde für weitere Analysen verwendet. Alle Messungen, einschließlich PPT, ROM, Griff- und Handgelenksextensionsstärke wurden als zuverlässig mit einem 24-Stunden-Intervall des Test-Retests angesehen.

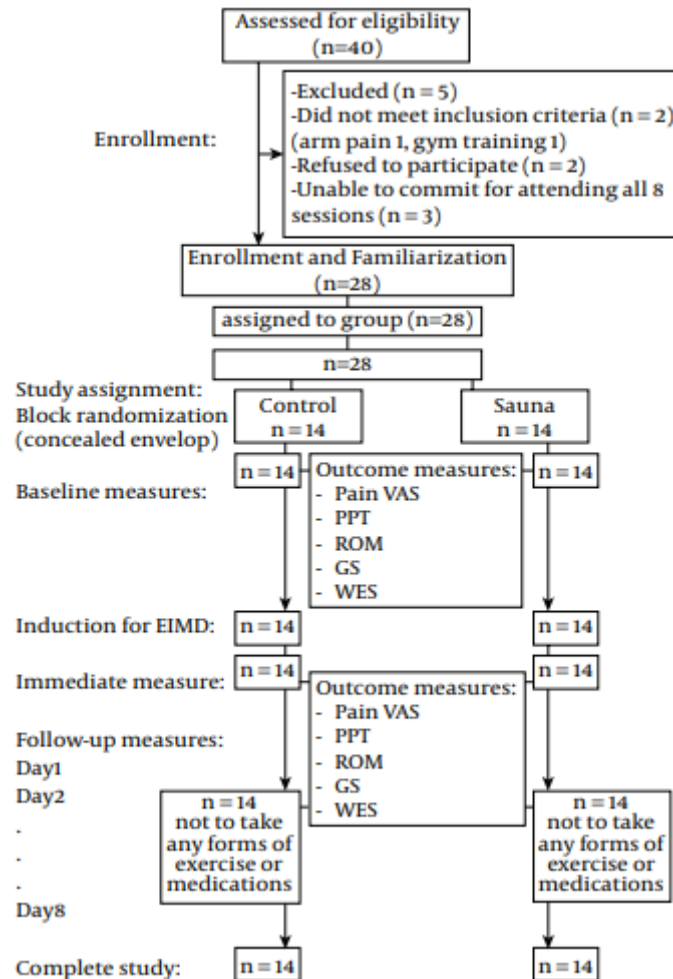


Abbildung 16: Ablauf der Studie (Quelle: Khamwong et al. 2015)

Ergebnisse

Alle Probanden waren Rechtshänder und es gab keinen Unterschied im Durchschnitt des maximalen Drehmoments und der Gesamtarbeit während der Übung zwischen Kontroll- und Saunagruppe.

Es gab einen signifikanten Anstieg der Durchblutungsmessungen vor der Sauna ($14,91 \pm 9,18$ flux/min) und nach der Saunaanwendung ($70,15 \pm 30,74$ flux/min). Auch die Hauttemperatur unterschied sich signifikant zwischen vor ($31,76 \pm 1,3^\circ\text{C}$) und nach ($33,85 \pm 1,4^\circ\text{C}$) dem Saunagang.

Die Veränderungen zwischen Kontroll- und Saunagruppe vor, unmittelbar danach und acht Tage nach der exzentrischen Übung wurden in Tabelle 7 dargestellt. Die Saunagruppe zeigte im Vergleich eine geringere Schmerzintensität und Abbildung 18 verdeutlicht dies.

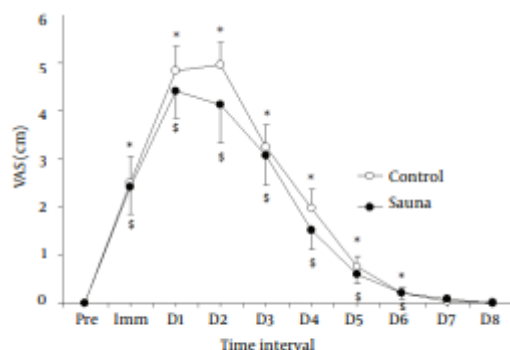
Weiters zeigten die Probanden, die die Sauna besuchten an den Tagen 1-7 nach der Übung ein deutlich geringeres Defizit an PF-ROM als die Kontrollgruppe. Darüber hinaus war in der Saunagruppe an den Tagen 1-2 nach der Übung ein deutlich geringerer Abfall an PE-ROM erkennbar. (Abbildung 17)

Tabelle 7: Änderungen der absoluten Werte (Mittelwert $\pm$ SD) und der mittleren Differenz zwischen den Gruppen (95% CI) für die Messungen vor (pre), sofort (Immediately) und 1 - 8 Tage nach der Übung (Quelle: Khamwong et al. 2015)

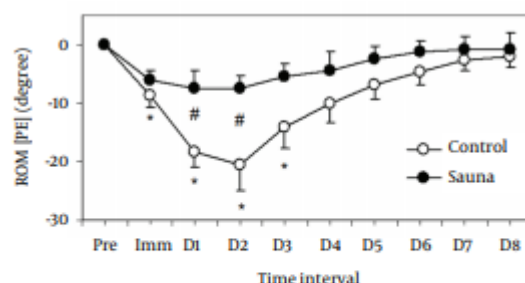
	Pre	Imm	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	Day 8
Visual Analog Scale (VAS) [10 cm]										
CON	0	2.5 (2.1) ^a	4.8 (1.9) ^a	5.0 (1.7) ^a	3.2 (1.7) ^a	2.0 (1.5) ^a	0.8 (0.8) ^a	0.2 (0.4) ^a	0 (0.09)	0.02 (0.07)
Sauna	0	2.4 (2.1) ^a	4.4 (2.1) ^a	4.1 (3.0) ^a	3.1 (2.3) ^a	1.5 (1.5) ^a	0.6 (0.7) ^a	0.2 (0.4) ^a	0.1 (0.3)	0 (0)
Mean dif (95% CI)	0.0 (0.0 - 0.0)	0.0 (-1.5 - 1.7)	0.4 (-1.1 - 2.0)	0.8 (-1.1 - 2.7)	0.2 (-1.4 - 1.8)	0.5 (-0.7 - 1.6)	0.2 (-0.4 - 0.7)	0.0 (-0.3 - 0.3)	0.0 (-0.2 - 0.1)	0.0 (-0.0 - 0.0)
Pressure Pain Threshold (PPT), kPa										
CON	300.2 (112.0)	269.3 (103.9) ^a	172.2 (80.4) ^a	174.3 (82.8) ^a	202.8 (79.0) ^a	238.2 (83.0) ^a	253.7 (79.1) ^a	284.5 (116.9)	292.0 (99.4)	302.3 (120.8)
Sauna	476.5 (111.0)	395 (115.4) ^a	315.1 (140) ^a	360.8 (170.4) ^a	391.0 (143.4) ^a	410.9 (142.4) ^a	431.1 (138.8) ^a	448.9 (123.9)	462.1 (117.4)	468.9 (119.2)
Mean dif (95% CI)	-176.4 (-263 - -89)	-125.9 (-211 - -40)	-142.9 (-231 - -54)	-186.5 (-290 - -82)	-188.3 (-278 - -98)	-172.7 (-263 - -82)	-177.3 (-265 - -89)	-164.3 (-257 - -70)	-170.2 (-254 - -85)	-166.5 (-259 - -73)
Range of Motion-Passive Flexion (ROM-PF) [degree]										
CON	98.9 (6.7)	89.8 (13.3)	69.2 (10.8) ^a	64.6 (13.1) ^a	70.6 (11.7) ^a	75.7 (12.1) ^a	83.7 (9.6) ^a	87.6 (11.6)	91.7 (8.9)	94.2 (8.8)
Sauna	92.6 (12.6)	88.2 (13.4)	82.5 (17.0) ^{a, b}	80.7 (23.0) ^{a, b}	81.1 (23.7) ^{a, b}	85.2 (21.0) ^{a, b}	87.3 (17.1) ^{a, b}	89.9 (15.3) ^b	91.5 (14.1) ^b	92.9 (13.9)
Mean dif (95% CI)	6.3 (-1.6 - 14.2)	1.6 (-8.8 - 11.9)	13.3 (-24.3 - -2.2)	15.4 (-29.9 - -0.8)	10.5 (-25.0 - 4.0)	9.5 (-22.8 - 3.8)	3.6 (-14.4 - 7.2)	2.3 (-12.8 - 8.2)	0.1 (-8.9 - 9.3)	1.3 (-7.7 - 10.3)
Range of Motion-Passive Extension (ROM-PE) [degree]										
CON	98.2 (8.7)	89.6 (9.9) ^a	79.9 (13.4) ^a	77.6 (16.9) ^a	84.0 (15.4) ^a	88.0 (12.4)	91.4 (12.4)	93.5 (11.4)	95.5 (11.3)	96.2 (12.3)
Sauna	111.3 (12.4)	105.1 (14.5)	103.9 (12.4) ^b	103.9 (11.7) ^b	105.8 (12.6)	106.9 (15.6)	108.9 (13.1)	110.0 (11.8)	110.5 (10.6)	110.5 (12.4)
Mean dif (95% CI)	-13.1 (-21.4 - -4.8)	-15.5 (-25.2 - -5.9)	-24.0 (-34.0 - -13.9)	-26.3 (-37.6 - -14.9)	-21.7 (-32.8 - -10.7)	-18. (-29.8 - -7.9)	-17.5 (-27.4 - -7.6)	-16.5 (-25.5 - -7.5)	-14.9 (-23.5 - -6.4)	-14.3 (-23.9 - -4.7)
Grip Strength-Pain free (GS) [N]										
CON	301.0 (50.1)	156.1 (68.8) ^a	155.7 (79.0) ^a	152.3 (77.8) ^a	208.8 (99.2) ^a	236.3 (73.3)	261.2 (65.8)	268.7 (75.6)	284.3 (81.5)	286.2 (76.5)
Sauna	303.4 (78.3)	212.8 (65.8) ^{a, b}	221.7 (93.7) ^{a, b}	235.3 (90.2) ^b	255.4 (89.9)	275.9 (82.9)	290.5 (78.6)	293.1 (68.6)	293.6 (82.3)	308.9 (72.8)
Mean dif (95% CI)	-2.4 (-53.5 - 48.6)	-56.7 (-109.0 - -4.4)	-65.9 (-133.3 - -14.4)	-82.9 (-148.4 - -17.6)	-46.5 (-120.1 - 27.0)	-39.5 (-100.3 - 21.3)	-29.4 (-85.7 - 26.9)	-24.4 (-80.5 - 31.7)	-9.4 (-72.9 - 54.3)	-22.7 (-80.7 - 35.3)
Wrist Extensor Strength-Pain free (WES) [N]										
CON	96.3 (26.2)	37.2 (18.0) ^a	32.3 (13.7) ^a	36.8 (16.4) ^a	52.3 (24.9) ^a	67.6 (26.8) ^a	71.4 (25.1) ^a	75.9 (27.4) ^a	82.5 (25.1) ^a	88.3 (25.5)
Sauna	75.8 (17.4)	41.2 (15.3) ^a	49.5 (25.7) ^b	56.2 (24.5) ^b	60.9 (23.9) ^b	66.8 (26.9)	68.0 (26.8)	73.6 (26.0)	75.4 (24.9)	80.5 (32.4)
Mean dif (95% CI)	20.5 (3.2 - 37.7)	-4.0 (-16.9 - 8.9)	-17.1 (-33.1 - -1.1)	-19.5 (-35.7 - -3.3)	-8.6 (-27.5 - 10.4)	0.8 (-20.0 - 21.7)	3.5 (-16.7 - 23.7)	2.3 (-18.4 - 23.0)	7.0 (-12.3 - 26.5)	7.8 (-14.8 - 30.4)

^a Significantly different from the baseline (pre).

^b Significantly different from CON.



* Significantly different from the baseline in control group ($P < 0.05$); \$: significantly different from the baseline in sauna group ($P < 0.05$).

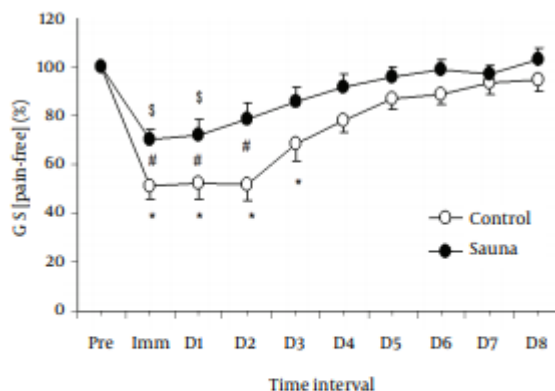


Mean and standard error of mean values of 14 subjects are shown for each group. *: significantly different from the baseline in control group ($P < 0.05$); #: significantly different between groups ($P < 0.05$).

Abbildung 18: Subjektives Schmerzempfinden beider Gruppen (Quelle: Khamwong et al. 2015)

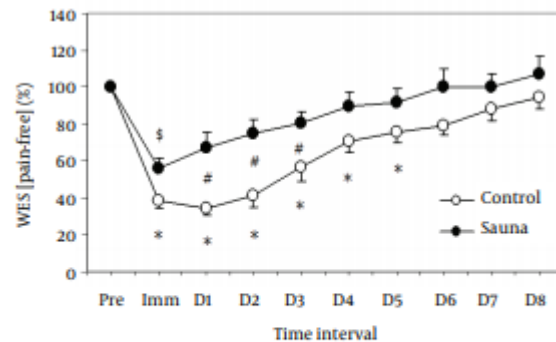
Abbildung 17: Relative Veränderungen des Bewegungsumfanges bei passiver Verlängerung (PE) (Quelle: Khamwong et al. 2015)

Bei der Muskelkraft wurde in der Saunagruppe ebenfalls ein geringeres Defizit an Griffstärke GS (schmerzfrei) in der unmittelbaren Zeit nach der Übung und an den Tagen 1-2 beobachtet (Abbildung 20). Ein weiterer geringfügigerer Abfall im Vergleich mit der Kontrollgruppe wurde bei Handgelenksstreckung WES (schmerzfrei) der Saunagruppe in unmittelbarer Zeit danach und an den Tagen 1-3 nach der Übung festgestellt (Abbildung 19).



Mean and standard error of mean values of 14 subjects are shown for each group. *: significantly different from the baseline in control group ($P < 0.05$), \$: significantly different from the baseline in sauna group ($P < 0.05$), #: significantly different between groups ($P < 0.05$).

Abbildung 20: Normalisierte Veränderungen der Griffstärke (GS) mit schmerzfreiem Basiswert (Quelle: Khamwong et al. 2015)



Mean and standard error of mean values of 14 subjects are shown for each group. *: significantly different from the baseline in control group ($P < 0.05$), \$: significantly different from the baseline in sauna group ($P < 0.05$), #: significantly different between groups ($P < 0.05$).

Abbildung 19: Normalisierte Veränderungen der Handgelenksstreckung (WES) mit schmerzfreiem Basiswert (Quelle: Khamwong et al. 2015)

11) Anderson, Nunn und Tyler veröffentlichten 2018 ihre Studie, deren Ziel, ein Vergleich zweier Kaltwasserimmersionen (14°C und 5°C) nach intermittierenden Laufübungen als Regenerationsmaßnahme, darzulegen. Neun männliche Mannschaftssportler durchliefen eine vollständige Einführungsstudie (ohne jegliche CWI als Erholung), gefolgt von drei experimentellen Versuchen, die durch mindestens sieben Tage getrennt und in einer randomisierten Reihenfolge durchgeführt wurden. Die Athleten hatten zum Zeitpunkt des Testverfahrens ein Durchschnittsalter von $24 \text{ Jahren} \pm 2 \text{ Jahre}$ und zusätzlich mussten die Probanden einen Fragebogen, zur deren persönlichen gesundheitlichen Geschichte, ausfüllen. Das 45-minütige Laufprotokoll absolvierten die Sportler auf einem motorisierten Laufband und im Anschluss folgte eine der drei 12-minütigen Erholungsinterventionen: CWI ($14^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), CWI ($5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) oder passive Regeneration (ruhiges Sitzen ohne viel Bewegung). Um am Ende Daten vergleichen zu können, wurden Messungen der Muskelfunktion, das Blutlaktat und die Kreatinkinase sowie der wahrgenommene Muskelkater der Athleten gemessen.

Die Messungen fanden zehn Minuten vor der Belastung, sofort danach, nach jeder Regenerationsmaßnahme und 24, 48 und 72 Stunden im Anschluss der intermittierenden

Laufübungen statt. Wichtig für die Studienergebnisse war es, dass die Probanden während der Studiendauer keine zusätzlichen Trainingseinheiten durchführten. Die Nahrungsaufnahme wurde 24 Stunden vor dem ersten Testversuch festgelegt und wiederholte sich vor dem zweiten Testversuch. Die Flüssigkeitszufuhr von 500ml zwei Stunden vor Testbeginn durfte je nach Befinden des Sportlers zugeführt werden.

Ein standardisiertes 5-minütiges Aufwärmen musste von jedem Athleten absolviert werden bevor die Testpersonen das Laufintervalltraining starteten. Dieses bestand aus ein minütigem Gehen (6km/h), Joggen, (12km/h), schnelles Laufen (15km/h) und Sprinten (18km/h). Nach dieser 9-minütigen Einheit erholten sich die Sportler drei Minuten im Stehen und das gerade beschriebene Intervalltraining begann erneut. Die maximale und durchschnittliche Herzfrequenz und die Werte der wahrgenommenen Anstrengung wurden im 5-Minuten-Takt über das gesamte Trainingsprotokoll aufgezeichnet. Nach Abschluss des intermittierenden Ablaufprotokolls wurden die Trainingsleistungen, die Blutabnahme und das subjektive Empfinden der Sportler bzgl. der Anstrengung notiert.

Durch das Zufallsprinzip bekamen die Athleten eine zugewiesene 12-minütige Erholungsmethode (CWI-14°C, CWI-5°C, PAS). Die Regeneration fand sitzend, bis zum Beckenkamm, in einer Badewanne statt und durch ständiges Überprüfen der Wassertemperatur mittels digitalem Thermometer und der Zugabe von Eis, konnten sich die Testpersonen bei gleichbleibender Temperatur erholen.

Ergebnisse

In allen drei Erholungsinterventionen kam es zu ähnlichen physiologischen Resultaten. Tabelle 8 veranschaulicht dies und es sind keine signifikanten Unterschiede ersichtlich.

Tabelle 8: Physiologische Messungen des intermittierenden Laufintervalltraining (Quelle: Anderson et al. 2018)

	Mean HR (b·min ⁻¹)	HRmax (b·min ⁻¹)	Median RPE	ΔMS	ΔT _r (° C)
Main Effect (Trial)	<i>p</i> = 0.87	<i>p</i> = 0.88	<i>p</i> = 0.48	<i>p</i> = 0.56	<i>p</i> = 0.37
CWI ₅ ° C	165 ± 10	188 ± 8	13 (12–15)	2.5 (2.0–4.0)	0.8 ± 0.2
CWI ₁₄ ° C	164 ± 8	189 ± 6	14 (13–15)	2.5 (1.3–3.8)	0.8 ± 0.3
CON	165 ± 7	190 ± 8	13 (12–15)	2.5 (1.0–4.0)	0.8 ± 0.2

*HR = heart rate; RPE = rating of perceived exertion (6–20); MS = muscle soreness (1–10); T_r = rectal temperature; CWI = cold water immersion; CON = control.

Tabelle 9 erläutert die Leistungszyklen der Testreihen genauer und die Spitzenleistung (PPO) konnte nach der Regenerationsmethode nicht mehr erreicht werden und blieb somit unter dem Anfang gemessenen Basiswert.

Tabelle 9: Die Ergebnisse der Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten (Quelle: Anderson et al. 2018)

	Baseline	Postexercise	Postrecovery	24-h post	48-h post	72-h post
Peak power output (W)						
CON	1,063 ± 209	1,038 ± 179	964 ± 190†	967 ± 132	982 ± 142	980 ± 151
CWI _{5°} C	1,020 ± 152	1,016 ± 161	894 ± 201†	974 ± 161	952 ± 132	974 ± 171
CWI _{14°} C	1,029 ± 199	1,007 ± 168	889 ± 218†	935 ± 137	914 ± 142	998 ± 124
Mean power output (W)						
CON	905 ± 143	893 ± 133	857 ± 197	875 ± 146	869 ± 185	872 ± 144
CWI _{5°} C	896 ± 155	881 ± 164	749 ± 200	849 ± 140	808 ± 117	857 ± 211
CWI _{14°} C	882 ± 158	866 ± 169	784 ± 200	812 ± 176	791 ± 147	815 ± 144
Lactate (mmol·L⁻¹)						
CON	0.8 ± 0.2	4.6 ± 1.2‡	3.1 ± 2.1†	1.0 ± 0.3†	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.1
CWI _{5°} C	0.9 ± 0.3	5.3 ± 1.3‡	2.6 ± 0.8†	1.1 ± 0.3†	1.1 ± 0.3	0.9 ± 0.1
CWI _{14°} C	0.8 ± 0.3	5.0 ± 1.3‡	2.5 ± 1.0†	1.2 ± 0.3†	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.1
Creatine kinase (IU·L⁻¹)						
CON	189 ± 85	284 ± 156	281 ± 142	546 ± 294†	572 ± 172†	463 ± 97†
CWI _{5°} C	248 ± 165	402 ± 188	305 ± 283	486 ± 209†	624 ± 142†	426 ± 153†
CWI _{14°} C	274 ± 146	391 ± 177	286 ± 127	478 ± 238†	699 ± 149†	348 ± 94†
Muscle soreness (1 [not sore]–10 [very, very sore])						
CON	2 (0–3)	4 (1–6)†	3 (1–5)‡	5 (3–8)‡	6 (3–6)‡	3 (1–6)†
CWI _{5°} C	2 (1–5)	5 (3–7)‡	3 (1–5)†	5 (1–7)†	5 (1–8)‡	4 (1–7)†
CWI _{14°} C	2 (0–5)	5 (1–9)‡	3 (1–5)†	4 (1–6)†	5 (3–7)†	3 (1–6)

*CWI = cold water immersion; CON = control.

† $p \leq 0.05$.

‡ $p < 0.01$ compared to baseline (output from post hoc tests for main effect time).

Tabelle 9 enthält Daten, die das Ausmaß der Veränderung im Vergleich zur Basismessung als Erholungsindex für jede Intervention vergleichen. In beiden Immersionsversuchen war die Leistung im Vergleich zur passiven Erholung (CON) unmittelbar nach der Regeneration beeinträchtigt. CWI (5°C) war 24 Stunden nach der Belastung bei der Wiederherstellung der PPO effektiver als CWI (14°C) und CON (Kontrollgruppe), während 48 Stunden nach dem Intervalltraining CON und CWI (5°C) effektiver als CWI (14°C) waren. Nach beiden Immersionsbehandlungen war die Spitzenleistung (PPO) 72 Stunden nach dem Training größer als bei der Kontrollgruppe.

Es gab, bezogen auf die Durchschnittsleistung (MPO), keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Regenerationsmethoden. Lediglich die Ausgangswerte der MPO und PPO waren bei der Kontrollgruppe höher als bei den beiden Kaltwasserimmersionsgruppen.

Die Daten, ausgedrückt als das Ausmaß der Veränderung im Vergleich zu den Ausgangswerten, werden in Tabelle 10 dargestellt. Diese zeigen nun, dass unmittelbar nach der Immersion das MPO bei der CWI (5°C) am stärksten und bei der Kontrollgruppe (CON) am wenigsten reduziert wurde. Zusammengefasst bedeutet dies, dass CON wirksamer als CWI (5°C) bzw.

gleichwertig verglichen mit der CWI (14°C) war und somit die Reduktion der MPO zu mildern. CWI (5°C) war 24 und 72 Stunden nach dem Training bei der Wiederherstellung der MPO effektiver als CWI (14°C).

Blutlaktat, Kreatinkinase und Muskelkater wurden ebenfalls als Parameter für die Regeneration herangezogen. Es gab keinen signifikanten Unterschied für die Laktat- oder Kreatinkinasewerte. Die Laktatkonzentrationen erreichten nach dem Training ihren Höhepunkt und zu allen weiteren Zeitpunkten waren sie im Vergleich zum Ausgangswert weiterhin erhöht. Dieses Ergebnis ist auch auf die Werte der Kreatinkinase übertragbar und Analyse des Muskelkaterratings ergab, dass im Laufe der Zeit zwar der Muskelkater verstärkt aufgetreten ist, es jedoch keine nennenswerte Unterschiede zwischen den Erholungsmethoden gab. Nur im Vergleich der beiden Kaltwasserimmersionen blieb das Rating des Muskelkaters bei der CWI (5°C) stets höher als bei der CWI (14°C).

Tabelle 10: Änderung der Werte, bezogen auf die Basismessungen der PPO und MPO zu verschiedensten Zeitpunkten (Quelle: Anderson et al. 2018)

Baseline vs.	PPO			MPO		
	CWI _{14°C} vs. CON	CWI _{5°C} vs. CON	CWI _{5°C} vs. CWI _{14°C}	CWI _{14°C} vs. CON	CWI _{5°C} vs. CON	CWI _{5°C} vs. CWI _{14°C}
Postrecovery						
Mean difference (W)	-42 ± 127	-27 ± 138	14 ± 90	-50 ± 88	-96 ± 96	-50 ± 91
Effect size (d)	-0.33	-0.20	0.16	-0.57	-1.03	-0.55
Effect magnitude	Small	Small	Trivial	Moderate	Large	Moderate
Most effective	CON	CON	–	CON	CON	CWI _{14°C}
24-h post						
Mean difference (W)	-2 ± 148	49 ± 138	47 ± 124	-41 ± 84	-18 ± 78	23 ± 83
Effect size (d)	-0.01	0.28	0.38	-0.48	-0.23	0.28
Effect magnitude	Trivial	Small	Small	Small	Small	Small
Most effective	–	CWI _{5°C}	CWI _{5°C}	CON	CON	CWI _{5°C}
48-h post						
Mean difference (W)	-34 ± 172	12 ± 168	47 ± 126	-56 ± 98	-53 ± 114	3 ± 98
Effect size (d)	-0.20	0.08	0.37	-0.57	-0.46	0.03
Effect magnitude	Small	Trivial	Small	Moderate	Small	Trivial
Most effective	CON	–	CWI _{5°C}	CON	CON	–
72-h post						
Mean difference (W)	47 ± 155	40 ± 144	-6 ± 116	-43 ± 88	-9 ± 116	34 ± 124
Effect size (d)	0.30	0.28	-0.05	-0.49	-0.08	0.28
Effect magnitude	Small	Small	Trivial	Small	Trivial	Small
Most effective	CWI _{14°C}	CWI _{5°C}	–	CON	–	CWI _{5°C}

*PPO = peak power output; MPO = mean power output; CWI = cold water immersion; CON = control.
 †d < 0.2 = trivial effect; d = 0.2–0.5 = small effect; d = 0.5–0.8 = moderate effect; and d > 0.8 = large effect. Negative difference = a larger reduction compared with baseline in trial listed first.

4. Diskussion

Die zuvor ausgewählten Studien wurden in den vorherigen Kapiteln in einer Tabelle veranschaulicht, beschrieben und zusammengefasst. Im folgenden Kapitel geht es darum, die Ergebnisse der Studien zu interpretieren und mittels Diskussion kritisch zu betrachten und zu hinterfragen. Um Studienvergleiche untereinander anzustellen, muss bedacht werden, dass die Untersuchungsmethoden und Untersuchungsdesigns sich von Studie zu Studie unterschieden und auch die Probanden unterschiedlich waren.

Vor allem das Alter, das Geschlecht und der Fitnesszustand der Testpersonen spielen eine große Rolle bei der Regeneration und dies darf bei einem Vergleich der Studien nicht außer Acht gelassen werden.

Das Hauptergebnis der Studie von Vaile et al. (2008) war, dass sowohl CWI als auch CWT während der fünf aufeinanderfolgenden Testtage eine signifikant bessere Performance als HWI und PAS erzielten. Die Leistungen der Radfahrer im Sprint konnten nach der Kaltwasser- und der Kontrastwasserimmersion sogar leicht verbessert werden. Im Gegensatz dazu, wurde nach der HWI und PAS ein Rückgang während des gesamten Sprints und Zeitfahrens beobachtet. Bezüglich der Arbeitsbelastung der Athleten sind das bemerkenswerte Ergebnisse, da die Erholung ein wichtiger Teil des Trainings bzw. Wettkampfes ist und eine unzureichende Regeneration kann zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit führen. Betrachtet man nun die Daten der vorliegenden Studie von Vaile et al. (2008) zeigt sich, dass die Athleten sehr gut regenerierten, da die Kaltwasser- und Kontrastwassergruppen ihre Leistungen im Laufe des Testverfahrens steigern konnten. In einem ähnlichen randomisierten Crossover-Design untersuchten Lane und Wenger (2004) die Wirkung von CWI, aktiver Erholung und Massage einer wiederholten Zyklusleistung, die durch 24 Stunden getrennt war. Wenn aktive Erholung, CWI und Massage zwischen den Trainingseinheiten durchgeführt wurden, konnten die Radfahrer auch in dieser Studie im zweiten Trainingslauf die Leistung aufrechterhalten oder sogar verbessern. Im Fall der hier beschriebenen Studie rief jedoch nur die Kaltwasserimmersion eine Leistungssteigerung hervor.

In dieser vorliegenden Studie wählte man die Erholungsmaßnahmen aus, um den isolierten Effekt des Eintauchens in heißes oder kaltes Wasser und im Wechsel zu untersuchen, wobei die Dauer von 14 Minuten der Wasserexposition identisch war. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass aus physiologischer und leistungsbezogener Sicht eine zeitweilige Exposition gegenüber heißem und kaltem Wasser kein Problem darstellte. Die Analyse der Daten unterstützt sogar

die Verwendung von CWT als posttraumatische Erholungsmaßnahme nach hochintensiven wiederholten Zyklen.

Es muss dennoch angemerkt werden, dass nicht in allen Studien ein Leistungsvorteil gefunden wurde. Was jedoch deutlich in den hier beschriebenen Studien ersichtlich wurde war, dass das subjektive Befinden der Probanden bezüglich des Muskelkaters nach einer Regenerationsmaßnahme explizit besser ausfiel als bei den Kontrollgruppen. Auch wenn keine Leistungssteigerung erkennbar war, wurde die Intervention in keiner Weise als schädlich oder nachteilig eingestuft.

Die Autoren beider Studien kamen zum Entschluss, dass die Zeitspanne zwischen Erholung mit Kaltwasser und nächstem Belastungsreiz groß genug sein muss, um den Leistungserhalt bzw. eine Verbesserung zu erzielen.

Die Analyse der HWI ergab, dass eine signifikant höhere Kerntemperatur im Vergleich zu CWI, CWT und PAS nach der Regeneration beobachtet wurde. Coté et al. (1988) und Wilcock et al. (2006) teilen die Meinung, dass die Entzündungsreaktion und die Schwellung durch die Anwendung von Wärme verschlimmert werden können. Physiologisch gesehen kann eine kontinuierliche Heißwasserimmersion aufgrund der Zunahme der kardiovaskulären Belastung schädlicher sein als die Exposition gegenüber kühlerem Wasser.

Die aktuellen Ergebnisse deuten darauf hin, dass CWI und CWT nützliche Interventionen zur Aufrechterhaltung und leichten Verbesserung der Radsportleistung sowohl beim Zeitfahren als auch bei Sprintleistungen sind.

Vaile et al. (2008) legen sich fest, dass die Kaltwasser- und Kontrastwasserimmersion vielversprechende Erholungsmaßnahmen sind, jedoch erwähnen sie auch die Wichtigkeit von weiteren Untersuchungen, da der Wissensstand in diesem Bereich noch zu gering sei, um konkrete Aussagen für die Allgemeinheit zu tätigen.

Soultanakis et al. (2015) hingegen kam zum Ergebnis, dass 15 Minuten passive Erholung, weder bei kühler noch bei warmer Hydrotherapie, positive Effekte bezüglich der Leistungsfähigkeit mit sich bringt. Der Blutlaktatspiegel kam zwar nach der Eintauchphase ins Wasser nicht an das Niveau vom Anfangswert heran, wirkte sich aber auch nicht negativ auf die Durchschnittsgeschwindigkeit aus. In dieser Studie wurde die Temperatur beider Eintauchbecken so gewählt, dass beim stationären Eintauchen signifikant unterschiedliche thermoregulatorische Werte hervorgerufen werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt war das Widerspiegeln der Wettkampfverhältnisse der Athleten in Bezug auf die Erholungszeit und den Möglichkeiten der Regenerationsmethoden. Deshalb unterschied sich die Kaltwasserimmersion (26,7°C) nur um rund vier Grad Celsius von der Warmwasserimmersion, da laut Soultanakis et

al. (2015) bei Schwimmwettkämpfen genau diese Wassertemperaturen in den Immersionsbecken gemessen werden. Die Autoren der Studie von 2015 kamen zur Schlussfolgerung, dass es bei einer passiven 15-minütigen Erholung zu keinem signifikanten positiven Effekt in Bezug auf die Schwimmleistung oder die gemessenen physiologischen Parameter kommt. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen dem anfänglichen oder maximalen Blutlaktatspiegel und der Leistung im 50m Schwimmen. Zois et al. (2013) gingen davon aus, dass hochintensive Aufwärmübungen, die den Laktatspiegel erhöhen, zur Leistungssteigerung beitragen können. Diese Annahme konnte bei Soultanakis et al. (2015) jedoch nicht bestätigt werden und müsste weiter untersucht werden. Ein Rückgang der Handgriffkraft wurde nach der Warmwasserimmersion festgestellt, aber diese Abnahme hatte keinen Einfluss auf die 50m Sprintleistung der Schwimmer und Soultanakis et al. (2015) konnten sich dieses Phänomen nicht erklären.

Subjektive Bewertungen von Regeneration, Müdigkeit oder Anstrengung spiegeln nicht unbedingt objektive Leistungsindikatoren wider und wurden in mehrere Studien (Elias et al. 2013, Ingram et al. 2009) zum Teil als widersprüchlich oder nicht reflektierend beschrieben. Auch bei Soultanakis et al. (2015) bewerteten Sportler die wahrgenommene Anstrengung nach der Kaltwasserimmersion höher und den Schwimmern war am Ende der Eintauchphase schon etwas kalt. All diese Aspekte spielten aber während der Schwimmzeiten keine Rolle und wirkten sich nicht negativ aus.

Bei Bastos et al. (2012) zeigten, dass aktive Erholung und Kaltwasserimmersion effektiver beim Abbau des Laktats nach dem Training sind als passive Erholung. Außerdem ruft die CWI eine größere kardiale autonome Modulation während der Regenerationsphase hervor als eine aktive Erholung hervor, die jedoch nicht länger als 75 Minuten nach der Belastung dauert. Die Zeit bis zur Erschöpfung beim MAS-Test (maximum aerobic speed) war unter den Erholungsinterventionen ähnlich und die notierten Zeiten liegen laut Billat et al. (1996) im „normalen“ Bereich für Hobbysportler. Viele Werte von sportlich Aktiven bis hin zu Leistungssportler fallen in die Spanne zwischen 2,9 bis 8,7 Minuten. Es muss natürlich bedacht werden, dass in den verschiedenen Studien die verwendeten Testprotokolle und MAS-Kriterien variieren können und es deshalb zu kleinen oder auch großen Unterschieden kommen kann. Bei Bastos et al. (2012) waren die HR-Maximalwerte am Ende des Tests bei gleich bleibender Geschwindigkeit statistisch nicht unterschiedlich und somit trainierten alle Teilnehmer, unabhängig der Behandlungsmethode, maximal und starteten daher unter ähnlichen physiologischen Bedingungen die Regenerationsphase. Vaile et al. (2011) bestätigen, dass der Blutfluss zu den Beinen und Armen nach aktiver Erholung für bis zu 40 Minuten erhöht bleibt.

Dies würde den niedrigeren Laktatwert im Vergleich zur passiven Regeneration erklären, denn eine Belastung mit geringer Intensität ist eine effektive Methode zur Optimierung des Laktatabbaus. Bezüglich der Kaltwasserimmersion ist die Studie von Bastos et al. (2012) eine der ersten, die einen schnelleren Abbau des Laktatwertes als Reaktion aufweist.

Insbesondere während der Erholungsphase waren SDNN und lnLF bei aktiver Erholung niedriger verglichen mit der Kaltwasserimmersion. Diese Unterschiede deuten darauf hin, dass ein Lauf mit niedriger Intensität, sprich 30% der VO₂max, sowohl sympathische als auch parasympathische Modulationen im Sinusknoten reduziert. Diese Feststellung bestätigt die Ergebnisse, die von Buchheit et al. (2009) und Al Haddad et al. (2010) beschrieben wurden. Ein erhöhter hydrostatischer Druck auf den Rumpf führt zu einer Erhöhung des Thoraxblutvolumens und dadurch werden zentrale Barorezeptoren stimuliert, die eine verminderte sympathische Aktivität und eine stärkere parasympathische Modulation hervorrufen können.

Die aktive Erholung scheint sich nach 15 Minuten in der Erholungsphase nachteilig auf das vegetative Gleichgewicht auszuwirken, da das NF/HF-Verhältnis höher war als bei der Anwendung der Kaltwasserimmersion. Dieser scheinbare Nachteil wurde festgestellt, obwohl beide Regenerationsinterventionen im Vergleich zur passiven Erholung effektiver Laktat abbauten. Für weitere Aufschlüsse bezüglich der Laktatwerte, wäre eine Messung über die vollen 90 Minuten erstrebenswert gewesen, anstatt ausgewählte Zeitpunkte zu nehmen.

Aus metabolischer Sicht zeigt die Studie von Bastos et al. (2012), dass Sportler sowohl bei aktiver Erholung als auch bei einer Kaltwasserimmersion davon profitieren, dass der Laktatabbau bis zu 15 Minuten nach dem Training schneller voran geht. Darüber hinaus begünstigt die CWI die gesamte kardiale autonome Modulation im Vergleich zur aktiven Genesung, während der Durchführung der Regenerationsintervention. Da die Nutzenwirkungen jedoch nicht dauerhaft sind, sprich kleiner als 75 Minuten, kommen Bastos et al. (2012) zum Entschluss, dass die positiven Effekte der Kaltwasserimmersion auf die Regulation des autonomen Systems begrenzt sind. Aktive Erholung sollte nicht als Regenerationsmaßnahme angewendet werden, wenn es darum geht, die parasympathische Reaktivierung zu beschleunigen.

Elias et al. (2013) hingegen zeigten auf, dass eine 14-minütige Immersion in kaltem Wasser nach einem Fußballmatch effektiver war, um die körperliche Leistungsfähigkeit wiederherzustellen, die wahrgenommene Müdigkeit zu reduzieren und den Muskelkater zu lindern als eine Kontrastwassertherapie und passive Erholung. Trotz vieler Studien wie Ascensão et al. (2011) oder Rowsell et al. (2009), die ebenfalls Fußballer mit einer

Kaltwasserimmersion behandelten und auf andere Ergebnisse stießen, legen die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie vor, dass sowohl CWI und CWT dazu beitragen, die physischen und psychometrischen Messungen wiederherzustellen. Der größte Einfluss auf die physische Leistung der CWI oder CWT war es, den Rückgang von RSA nach ein dem Spiel zu mildern. Bezüglich des Muskelkateratings ist anzumerken, dass dieser in allen Gruppen nach dem Match zunahm. Besonders lange, sprich 48 Stunden während der Erholungsphase, verspürten die Probanden der passiven Regenerationsgruppe den Muskelkater am stärksten. Sowohl die Testpersonen der Kaltwasserimmersion als auch die der Kontrastwassertherapie bestätigten eine Linderung des Muskelkaters während der 48 Stunden. Dieser positive Effekt trat nicht nur bei der hier beschriebenen Studie auf, auch Dawson et al. (2008) bestätigte zuvor, dass die Anwendung einer Kaltwasserimmersion die kumulative Müdigkeit der getesteten Radfahrer reduzierte.

Der Counter Movement Jump (CMJ) verschlechterte sich bei allen nach dem Spiel erheblich, wobei im Vergleich zur passiven Erholungsgruppe milderten CWI und CWT diesen Rückgang erfolgreicher. Der statische Sprung verzeichnete dasselbe Ergebnis und auch hier trug die Kaltwasserimmersion dazu bei, dass die Werte, die vor dem Training aufgezeichnet wurden, wieder schneller zu erreichen. Die thermische Belastung bei Athleten, die in der Hitze trainieren, kann durch das Eintauchen in kaltes Wasser reduziert werden, da die Kerntemperatur sinkt. Das Match der Probanden fand bei einer Umgebungstemperatur von 25,8°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 63% statt. Durch die Abnahme der thermischen Belastung und der Kerntemperatur, konnten die wahrgenommenen Schmerzen und die Müdigkeit womöglich reduziert werden und dies ist auf die Kaltwasserimmersion zurückzuführen. Wilcock et al. (2006) und Coté et al. (1988) teilten die Meinung, dass Kälte den Entzündungsprozess hemmen kann, während Wärme die Entzündungsreaktion erhöhen und deshalb ist es durchaus möglich, dass die CWI bessere Werte vorweist als die CWT, wo ein Wechsel zwischen kalt und heiß stattfindet.

Wichtig für Ingram et al. (2009) war es, die Intensität und Dauer der Belastung so hoch zu halten, um Muskelschmerzen und -schäden hervorzurufen. Diese wurden mit Plasma CK-Werte und durch subjektives Bewerten des Muskelkaters seitens der Sportler belegt bzw. aufgezeichnet. Die Ergebnisse zeigten eine Regenerationsmethode, die im Vergleich zu den anderen beiden deutlich bessere Werte verzeichnete. Die Muskelkateratings der Testteilnehmer, die sich der Kaltwasserimmersion unterzogen, schnitten sowohl 24 Stunden als auch 48 Stunden nach der Belastungsübung besser ab. Die Athleten der CWI erzielten sogar 48 Stunden nach dem ersten Belastungstest leicht verbesserte Sprint- und Gesamtzeiten. Darüber

hinaus waren die gemessenen Beinübungen ebenfalls vergleichbar mit den Ausgangswerten von vor zwei Tagen. Einen leichten Rückgang verzeichnete die Kontroll- und Kontrastwassergruppe. Obwohl es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erholungsinterventionen für Marker bezüglich Muskelschäden oder Entzündungen gemessen wurden, zeigten die Messwerte dennoch kleinere Erhebungen nach der Kaltwasserimmersion. Wie bereits die obigen Ergebnisse darlegen, weisen auch Ingram et al. (2009) darauf hin, dass die Kälte die Fähigkeit besitzt, entzündliche Reaktionen und die daraus resultierenden sekundären Muskelschäden zu reduzieren. Dennoch muss erwähnt werden, dass die Plasmakonzentrationen CK und CRP in dieser vorliegenden Studie mit dem Muskelkater oder Leistungsfähigkeit nicht signifikant korreliert und sich nun die Frage stellt, ob die CK-Werte den Schweregrad von DOMS genau quantifizieren. Im Vergleich zur CWI zeigte die CWT wenig Erholungseffekt, außer einer leichten Verringerung des Muskelkatergefühls 24 Stunden nach dem Training. Umgekehrt schreiben Vaile et al. (2007), dass eine Regeneration mit einer Kontrastwassertherapie geringere Kraftverluste, verminderten Muskelkater und -schwellungen mit sich bringt. Sie argumentierten damit, dass unterschiedliche Wassertemperaturen schnelle Veränderungen in der Muskelperfusion hervorrufen könnten („Pumpeffekt“), der die Regeneration fördert. Damit jedoch einer dieser physiologischen Vorteile/Nachteile eintritt, müssten erhebliche Veränderungen der Temperatur des Muskelgewebes auftreten und dies wurde in der hier vorliegenden Studie nicht bewertet. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Zeit, denn je länger der Zeitraum ist, in dem man Messungen vornimmt, desto deutlicher könnten die Ergebnisse über die gewonnen Daten sein.

Wie auch bei den zuvor beschriebenen Studien kamen auch Yeung et al. (2016) zum Ergebnis, dass das Eintauchen in kaltes Wasser die subjektive Wahrnehmung vom Muskelkater am Tag nach dem Training vermindert. Es gab jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Muskelleistung. Genau wie Vaile et al. (2008) wird in dieser Studie ein signifikanter Rückgang der Herzfrequenz und Hauttemperatur nach dem Eintauchen in kaltes Wasser festgestellt. Die Vermutung liegt nahe, dass es dabei zu einer kutanen („zur Haut gehörend“) Gefäßverengung und Verringerung des peripheren Blutflusses kommt. Diese Umverteilung des Blutes von der Peripherie zum Kern erhöht den venösen Rückfluss und erhöht das Schlagvolumen. Dabei kommt es zu einer Verbesserung der Blut- und Sauerstoffversorgung der arbeitenden Muskeln. Der Index der Gewebeoxygenierung (TOI) wurde laut Yeung et al. (2016) signifikant reduziert und dieser spiegelt in erster Linie das dynamische Gleichgewicht zwischen Sauerstoffangebot und –nachfragebedarf im Muskel wider. Diese Reaktionen stehen für die Gewebeextraktionen von Sauerstoff und während des Trainings kommt es zu erhöhten Stoffwechselanforderungen.

Insbesondere zeigte die Kaltwasserimmersionsgruppe im zweiten Ermüdungsprotokoll im Vergleich zum ersten eine Abschwächung des TOI von 4%, was auf eine mögliche Erhöhung der Sauerstoffverfügbarkeit der Muskulatur und eine Verbesserung der oxidativen Kapazität nach dem Eintauchen in Kaltwasser hinweist. Obwohl die gerade genannten Auswirkungen aufgezeichnet wurden, konnte kein großer Effekt bezüglich der Muskelleistung reflektiert werden. Die Wahrnehmung der Sportler/innen auf den Muskelkater war in der Gruppe der Kaltwasserimmersion 24 Stunden nach der Belastung signifikant geringer als in der Kontrollgruppe. Wie bereits bei Ingram et al. (2009) bestätigt, trägt das Eintauchen in kaltes Wasser dazu bei, dass das Empfinden der Regeneration nach dem Training dadurch verbessert wird.

Rupp et al. (2012) verweisen darauf, dass eine Kaltwasserimmersion unmittelbar und 24 Stunden nach dem Yo-Yo-Intervall-Recovery-Test (YIRT) keine positiven Effekte bezüglich einer Leistungssteigerung oder der Müdigkeit hatte. Vaile et al. (2008) und Ingram et al. (2009) können die Ergebnisse von dieser Studie nicht bestätigen. Jedoch dienten ihre Studie als Grundlage für Rupp et al. (2012). Basierend auf der Vorstellung, dass die CWI die entzündliche Reaktion abschwächt und die Ermüdung der unteren Extremitäten über 48 Stunden verringert, unterzogen sich die Athleten/innen einer Immersionsbehandlung mit kaltem Wasser. Der oben genannte Intervalltest wurde deswegen gewählt, da er mit der Leistung, die ein/e Spieler/in bei einem Fußballmatch erbringen muss, zu vergleichen ist. Rupp et al. (2012) richtete sich, in Bezug auf die gewählte Wassertemperatur der CWI, nach Eston et al. (1999). 12°C wurde auf der Grundlage von Daten gewählt, die einen Anstieg der Durchblutung bei Temperaturen unter 10°C nahelegen und deshalb eine Behandlung unterhalb dieser Temperaturen wirkungslos ist. Eston et al. (1999) führen weiter an, dass dabei Gewebetemperaturen über einen längeren Zeitraum unter 25°C fallen können und eine Vasodilatation im Hauptgewebe stattfindet. Dies wiederum schränkt die Verringerung der Entzündungsreaktion ein, da das Gewebe wieder erwärmt werden muss, um Erkältungsschäden zu vermeiden. Im Gegensatz zu oberflächlichem Eis hat die Kaltwasserimmersion auch die Eigenschaft des hydrostatischen Drucks, der eine Verdrängung von Flüssigkeiten im eingetauchten Körper verursacht und bei der Ausscheidung von Stoffwechselsubstraten aus Muskeln helfen kann. Während des Eintauschens wird ein Druck auf den Körper ausgeübt, der Flüssigkeiten nach oben und nach innen drückt. Dies hat, laut Wilcock et al. (2006) den Effekt, dass ein akutes Ödem oder Substrate von den ermüdeten bzw. geschädigten Muskeln in Richtung des zu verarbeitenden Lymphsystems geschoben wird, um eine schnellere Erholung nach dem Training zu ermöglichen. Vergleicht man die Ergebnisse von Vaile et al. (2009) mit der hier vorliegenden Studie so wird deutlich, dass die

Schlussfolgerungen auseinander gehen. Für Rupp et al. (2012) ist eine CWI nicht notwendig, da eine angemessene 48-stündige Erholung in Form von guter Ernährung und einem adäquaten Trainingsreiz völlig ausreicht, um die Glykogenspeicher der Muskeln wiederaufzufüllen und die Regeneration voranzutreiben. Nach anspruchsvollen Trainingseinheiten oder Wettkämpfen nutzen viele Leistungs- und Hobbysportler/innen häufig die Kaltwasserimmersion, in der Hoffnung, die Ermüdung der unteren Extremitäten (vor allem im Fußballsport) zu begrenzen und um frühere Trainingsreize setzen zu können. Die Ergebnisse dieser Studie deuten jedoch darauf hin, dass das Eintauchen bei einer Wassertemperatur von 12°C – 15°C nach dem Training und 24 Stunden danach die körperliche Leistungsfähigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe (passive Erholung) nicht beeinträchtigten.

Die vorliegende Studie von Rey et al. (2012) behandelte hauptsächlich die Auswirkungen einer aktiven (Laufen mit niedriger Intensität und statisches Dehnen) und einer passiven Erholungsgruppe sofort nach einer Belastungseinheit. Untersucht wurden anaerobe Leistungen und die Flexibilität der unteren Extremitäten bei 31 Fußballern. Leidglich beim CMJ 24 Stunden nach dem Training führte die aktive Erholung zu signifikanten Unterschieden, denn in Bezug auf den 20m Sprint, Agilitätstest und der Unterschenkelflexibilität wurden, verglichen mit der Kontrollgruppe, keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Aufgrund dessen, dass der Beobachtungszeitraum von zwei experimentellen Sitzungen relativ kurz ist, liegt die Annahme nahe, dass es schwierig ist in so kurzer Zeit die Wirkung von Erholungsmaßnahmen zu bewerten. Folglich ist nicht bekannt, wie sich die angewendete Regenerationsmethode auf einen längeren andauernden Belastungszeitraum auswirkt. Erschwert wird diese Bewertung auch dadurch, dass Erholungsindikatoren wie biomechanische Parameter nicht einbezogen wurden. Zusammenfassend könnte dies bei Rey et al. (2012) bedeuten, dass unabhängig von der Art der physischen Messung der kurzfristige Effekt verschiedener Erholungsinterventionen auf die physische Leistung nicht leistungssteigernd, sondern leistungserhaltend zu sein scheint. Dennoch war die signifikant bessere mittlere CMJ-Leistung 24 Stunden nach der aktiven Regeneration ein Hinweis, dass die Erholungsphase wertvolle Hilfsmittel für die Muskelregenerationsfunktion darstellen könnte. Ergebnisse der anaeroben Leistung deuten darauf hin, dass die Spieler nach einer aktiven Regenerationsmaßnahme in der Lage sein könnten, Belastungen zu erbringen, die gleich oder nahe ihrem Maximum liegen.

Costello et al. (2012) vertreten die Auffassung, dass trotz einer weitverbreiteten Anwendung der Kryotherapie es immer wieder zu widersprüchlichen Ergebnissen kommt und die Meinung von Costello & Donnelly (2010), dass die Wirkung der Kältetherapie auf die Gelenkstabilität, neuromuskuläre und propriozeptive Schärfe zwiespältig ist, kann anhand der hier vorliegenden

Ergebnisse nicht bestätigt werden. Jede Beeinträchtigung der propriozeptiven Schärfe kann laut Costello & Donnelly (2012) zu einer erhöhten Knieverletzungsgefahr führen, jedoch zeigen die gewonnenen Daten in dieser Studie, dass die Knie-JPS nach der WBC unverändert blieb. Trotz zahlreicher Literatur über kaltwasserbasierte Rehabilitationstechniken sind die Daten über eine Ganzkörper-Kryotherapie knapp und Costello et al. (2012) bekritteln, dass es nur wenige Belege dafür gibt, die den Einsatz von WBC bei der Wiederherstellung von verursachten Muskelschädigungen durch Bewegung unterstützen. Die erhaltenen Daten der aktuellen Studie deuten darauf hin dass zwei 3-minütige Ganzkörper-Kryotherapien von -110°C unwirksam sind, wenn es darum geht, die Spitzenleistung zu verändern. Sowohl das Kältezimmer (15°C) als auch die WBC verzeichneten keinen Rückgang nach der exzentrischen Belastung. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass sich die Probanden 48 Stunden danach ausreichend erholt hatten oder dass das exzentrische Üben eines Beines die Spitzenleistung (PPO) während des Radfahrens nicht beeinflusste. Es wurden keine Haut-, Muskel- oder Gelenktemperaturen erfasst und weitere Untersuchungen sind erforderlich, um zu überprüfen, ob die WBC diese Temperaturen verändert und als Methode zur Genesung nach sportlicher Belastung empfohlen werden kann.

Anderson et al. (2018) war die in diesem systematischen Review die einzige Studie, die die Wirkung einer Kaltwasserimmersion nach intermittierenden Laufübungen mit unterschiedlichen Temperaturen (14°C und 5°C) untersuchte. Verglichen wurden die gewonnenen Daten mit einer Kontrollgruppe, die keinen Tauchgang hatten. Die Hypothese von Anderson et al. (2012), dass MPO (mean power output) durch beide CWI-Interventionen verbessert wird, konnte nicht bestätigt werden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe, beeinträchtigten beide Regenerationsmethoden der Kälte die Durchschnittsleistung (MPO) negativ. CWI mit 5°C hatte hingegen einen kleinen positiven Effekt in Bezug auf die Rückgewinnung der Spitzenleistung 24 und 72 Stunden nach dem Training. Dies könnte bedeuten, wenn ein/e Athlet/in gefordert wird, in den 72 Stunden nach der Belastung wieder kurzzeitige explosive Einheiten durchzuführen, so kann das Eintauchen in 5°C Wasser von Vorteil sein. Die Wiederherstellung der Spitzenleistung (PPO) und Durchschnittsleistung (MPO) auf Basisniveau gelang mit 5°C effektiver als mit 14°C. Beim wahrgenommenen Muskelkater innerhalb der ersten 48 Stunden nach der Belastung gab es unter den Regenerationsmethoden keine Unterschiede. Die sofortige Beeinträchtigung der MPO war in der CWI bei 5°C stärker ausgeprägt und dies ist laut Anderson et al. (2012) auf eine stärkere anfängliche Absenkung der Muskeltemperatur auf suboptimale physiologische Werte zurückzuführen. Ein Muskelkater wird oft im Zeitraum von 24 bis 48 Stunden nach dem Training dokumentiert. In dieser vorliegenden Studie wurde der

Muskelkater 48 Stunden nach der Belastung in allen Gruppen beobachtet und Hohenauer et al. (2015) hielten fest, dass eine Kaltwasserimmersion einen kleinen bis großen positiven Effekt auf die Linderung von verzögertem Muskelkater bei 24, 48, 72 und 96 Stunden nach körperlicher Verausgabung hat. Bei Anderson et al. (2012) kam es jedoch zu einem unbedeutenden Effekt bezüglich des wahrgenommenen Muskelkaters, da er durchgehend erhöht blieb und erst wieder 72 Stunden nach dem Training zum Ausgangswert zurückkehrte. Die Aktivierung von nozizeptiven (schmerzempfindlichen) afferenten Neuronen ist ein Teil, der die kälteinduzierte Abnahme der wahrgenommenen Schmerzen erklären und obwohl bei beiden Kälteinterventionen die Kälte ausreichend waren, um diese Rezeptoren zu aktivieren, wurde keine Verbesserung festgestellt.

Khamwong et al. (2015) zeigte die positiven Auswirkungen einer Saunaintervention und verdeutlichte, dass das Saunieren vor einer Belastung den Regenerationsprozess nach dem Training fördert, da dadurch die übungsinduzierte Muskelschädigung (EIMD) reduziert werden konnte. Die Probanden der Saunagruppe wiesen bei EIMD ein deutlich geringeres Defizit an Handgelenkbeugung (PF-ROM) und Extension (PE-ROM) am Handgelenk als die Kontrollgruppe auf. So kann die Anwendung der Sauna eine therapeutische Wirkung bei der Reduzierung von EIMD in der Muskelgruppe der Gruppe der Handgelenksstreckmuskelgruppe haben. Matsumoto et al. (2011) gehen davon aus, dass eine leichte bis moderate Erwärmung des ganzen Körpers die Kapillardilatation (Kapillarerweiterung) fördert und so Muskelkrämpfe im Zusammenhang mit Muskelkontraktion lindert. Die Muskelkraft ist ein wichtiger Indikator für Muskelschäden und wird normalerweise nach einer Trainingseinheit, die eine langsame Erholung nach sich zieht, reduziert. In Bezug der hier beschriebenen Studie zeigten GS (Griffstärke) und Handgelenksstreckung (WES) der Saunagruppe weniger Defizite als jene der Kontrollgruppe. Es ist möglich, dass die Sauna-Hyperthermie (Übererwärmung) die linksventrikuläre Funktion (linke Herzkammer), das Herzzeitvolumen und die Gefäßaktivität durch eine erhöhte Durchblutung des Muskels verbessern könnte. Dieser Mechanismus hilft laut Kukkonen-Harjula & Kauppinen, (2006), frisches Blut, Sauerstoff, Nährstoffe und Hormone in den Muskel zu befördern, die für eine effiziente Funktion entscheidend ist.

Einschränkungen in der Studie von Khamwong et al. (2015) sind zum einen, dass die Muskeltemperatur nicht gemessen wurde und zum anderen ist es nicht möglich, eine optimale Erwärmung für den therapeutischen Nutzen vorzuschreiben. Ein weiterer Punkt, der in allen elf Studien zum Tragen kommt ist, dass die meist männlich untersuchten Probanden und Sportler, die ein Durchschnittsalter von rund 24 Jahren hatten, nicht auf ältere Altersgruppen hochgerechnet werden kann.

5. Resümee

Die Forschungsfragen, welche zu Beginn, in Kapitel 1.1 formuliert wurden, konnten im Laufe der Arbeit ausreichend beantwortet werden.

Die Unterschiede der hier vorliegenden Studien können unter anderem auf die unterschiedlichen Temperaturen und Längen der verwendeten Immersion, die Umgebungstemperatur vor dem Eintauchen und die verschiedenen Wettkämpfe/Trainingseinheiten zurückzuführen sein.

Trainer/innen, Leistungs- und Hobbysportler/innen haben die Möglichkeit, die gewonnen Daten als Grundlage für neue Trainingspläne heranziehen. Hat der oder die Sportler/in das Gefühl nach einer Regenerationsmethode schneller als geplant fit zu sein, so können Belastungsreize früher gesetzt werden.

Verzögerte Muskelkater können zu einem erhöhten Verletzungsrisiko führen und da sowohl CWI bei einer Vielzahl von Studien als auch CWT bei wenigen Studien wirksam zur Verringerung von Schmerzen waren, können diese Regenerationsmethoden für die Verletzungsprävention und Leistungssteigerung wichtig sein.

Bezüglich des nützlichen Beitrags der Regenerationsmaßnahmen auf Muskelschädigungsparameter und Leistungssteigerung und welchen Endeffekt es für die Praxis gibt, kann Folgendes gesagt werden:

Die physiologische Wirkung des hydrostatischen Drucks und die mit dem Eintauchen ins Wasser verbundene Entspannung können dabei helfen, die Wirksamkeit der verschiedenen Immersionsarten zu erklären. Diese Meinung vertreten Wilcock et al. (2006) ebenfalls, da das Eintauchen ein Gefühl großer Entspannung hervorruft und dazu beiträgt, die Wahrnehmung von Müdigkeit und Schmerz im Vergleich zur Kontrollgruppe verringern. Wilcock et al. (2006) fügen weiter an, dass der steigende Druck die Verdrängung von Flüssigkeiten von den Extremitäten in Richtung der zentralen Kavität verursachen und Muskelödeme verringern kann. Die Senkung der Hauttemperatur nach dem Eintauchen in kaltes Wasser kann eine plausible Erklärung für eine verminderte Wahrnehmung von Muskelkater sein, da es entzündliche Reaktionen reduziert und sekundäre Muskelschäden minimiert (Eston & Peters, 1999).

Aus den Studien geht hervor, dass der Entzündungsprozess zur Ätiologie (Lehre von den Ursachen) von Muskelschäden und zum daraus meist resultierenden Muskelkater nach dem Training beiträgt. Knight (1995) vertritt die Auffassung, dass die Anwendung von Kälte,

Wärme aus dem verletzten Gewebe zieht und in der Lage ist, die Gewebetemperatur zu senken. Die Kühlung von Geweben reduziert den Zellstoffwechsel und damit den Bedarf an Sauerstoff, so dass die beteiligten Zellen, die durch die Entzündungen verursachte Hypoxie (Mangelversorgung des Gewebes mit Sauerstoff) besser überstehen können. Der Einsatz der Kältetherapie hilft auch bei der Schmerzlinderung durch Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit und die Aktivität der Muskelspindel wird laut Eston & Peters (1999) verringert. Der Schmerz-Krampf-Zyklus kann dadurch unterbrochen werden, da sich der Muskel entspannt und weniger Schmerz verspürt.

Die Schmerzhaftigkeit ist der am häufigsten gemessene Marker für exzentrische Muskelschäden und die verwendete Methode zur Bestimmung ist eine Austestung mit einem selbsterstellten Fragebogen oder eine visuelle Analogskala, wie sie in den Studien oft herangezogen wurde. Die Gefahr dieser gewonnenen Daten besteht darin, dass die Ergebnisse auf subjektive Messungen beruhen und ein Vergleich zwischen Probanden nicht zuverlässig ist.

Deshalb gab es bei den verschiedenen Modalitäten der Kryotherapie, darunter Kaltwasserimmersion und Kontrastwasserimmersion oft widersprüchliche Erkenntnisse zur Erholung des Muskelkaters.

Drei der elf Studien untersuchten Fußballern/innen. Die Verbesserung der körperlichen Leistung nach dem Spiel ist besonders in dieser Sportart wesentlich. Die Spieler/innen stehen in der Regel 24 Stunden nach einem Fußballspiel wieder auf dem Trainingsgelände, um sich auf die kommenden Spiele vorzubereiten. Daher ist es von großer Bedeutung, so früh wie möglich neue Trainingsreize setzen zu können und vierzehn Minuten CWI oder CWT waren bei Elias et al. (2013) von Vorteil, um die körperliche Leistungsfähigkeit wiederherzustellen, sowie Muskelkater und wahrgenommene Müdigkeit nach Belastungen zu minimieren.

In Bezug auf die Regenerationsinterventionen und wie diese eingesetzt werden können sei gesagt, dass es in den Studien immer wieder unterschiedliche Voraussetzungen gab, von sportlich aktiven Menschen bis hin zu Leistungssportlern/innen und da liegt es nahe, dass Personen, die nicht tagtäglich Sport treiben, anders auf Belastungen und Erholungsmethoden reagieren als Profisportler/innen.

Athleten/innen und Mediziner/innen wählten in allen Studien unterschiedliche Eintauchtiefen sowie Zeit- und Kombinationen für die Behandlung. All diese Aspekte können zu unterschiedlichen Ergebnissen beitragen und auch die Belastungen während des Testverfahrens unterschieden sich oft grundsätzlich. Beim Fußball erzielte die Kaltwasserimmersion gute

Ergebnisse und wird immer öfters als Regenerationsmethode eingesetzt. Die Analyse der hier vorliegenden elf Studien ergab, dass die Dauer der Regenerationsmaßnahmen nur über einen äußerst kurzen Zeitraum Verwendung fand und eine längerfristige Studie erfolgreicher sein könnte, wenn es darum geht, wertvolle Informationen über die Wirksamkeit von Erholungsmaßnahmen zu liefern.

Die dritte Forschungsfrage, ob es Unterschiede zwischen bezüglich der Anwendung von Wärme und Kälte gibt, kann beantwortet werden. Ein verminderter Stoffwechsel ist die wichtigste Wirkung von Kälte während der Sofortbehandlung, da er sekundäre Verletzungen begrenzt. Ein verminderter Stoffwechsel wird teilweise, aber nicht vollständig durch einen weiteren Effekt - eine verminderte Durchblutung - aufgehoben, der die Sauerstoffzufuhr verringert und somit zu einer sekundären Schädigung beiträgt. Kälte ist auch während dieser genannten Prozesse vorteilhaft, da sie Muskelkrämpfe und Schmerzen reduziert. Die Wärmeanwendung ist während der Sofortbehandlung kontraindiziert, da ein erhöhter Stoffwechsel die sekundäre Verletzung fördern und somit die Schädigung verschlimmern würde.

Zu den lokalen physiologischen Reaktionen auf Kälteanwendungen gehören verminderte Temperatur, Stoffwechsel, Entzündungen, Durchblutung, Schmerzen und Krämpfe sowie erhöhte Gewebesteifigkeit. Einige dieser Reaktionen sind vorteilhaft, andere schädlich, während verschiedener Phasen des Verletzungsmanagements im Sport. Wärmeanwendungen werden in der Regel für das postakute Verletzungsmanagement zur Verringerung von Schmerzen und als Ergänzung zur Dehnung von Bindegewebekontrakturen bevorzugt. Um den maximalen Nutzen aus jeder therapeutischen Modalität zu ziehen, müssen die spezifischen Bedürfnisse des Sporttreibenden und die physiologische Reaktion auf spezifische Modalitäten verstanden werden.

Das persönliche Gespräch zwischen Athlet/in und Trainer/in oder Therapeut/in bilden auch in Zukunft eine sehr aussagekräftige Rückmeldung während Trainings- und Wettkampfphasen und schafft die Basis für eine erfolgreiche Leistung.

6. Literatur

- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Lemaitre, 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*, 156(1-2), 111-116.
- Anderson, D., Nunn, J., & Tyler, C. J. (2018). Effect of Cold (14° C) vs. Ice (5° C) Water Immersion on Recovery from Intermittent Running Exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(3), 764-771.
- 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.
- Bastos, F. N., Vanderlei, L. C. M., 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.
- Billat, V. L., Hill, D. W., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO₂ max and on its time to exhaustion. *Archives of physiology and biochemistry*, 104(3), 313-321.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human kinetics.
- Buchheit, M., Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 296(2), H421-H427.
- Cleather, D. J., & Guthrie, S. R. (2007). Quantifying delayed-onset muscle soreness: a comparison of unidimensional and multidimensional instrumentation. *Journal of sports sciences*, 25(8), 845-850.
- Costello, J. T., & Donnelly, A. E. (2010). Cryotherapy and joint position sense in healthy participants: a systematic review. *Journal of Athletic Training*, 45(3), 306-316.
- Costello, J. T., Algar, L. A., & Donnelly, A. E. (2012). Effects of whole-body cryotherapy (–110° C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22(2), 190-198.
- Coté, D. J., Prentice Jr, W. E., Hooker, D. N., & Shields, E. W. (1988). Comparison of three treatment procedures for minimizing ankle sprain swelling. *Physical Therapy*, 68(7), 1072-1076.
- Elias, G. P., Wyckelsma, V. L., Varley, M. C., McKenna, M. J., & Aughey, R. J. (2013). Effectiveness of water immersion on postmatch recovery in elite professional footballers. *International journal of sports physiology and performance*, 8(3), 243-253.

- 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.
- Friden, J., Sjöström, M., & Ekblom, B. (1983). Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *International journal of sports medicine*, 4(03), 170-176.
- Friedrich, W. (2011). *Optimale Regeneration im Sport: der Schlüssel zum Erfolg für Freizeit- und Leistungssportler*. Spitta.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine*, 31(10), 725-741.
- Grassi, B., Pogliaghi, S., Rampichini, S., Quaresima, V., Ferrari, M., Marconi, C., & Cerretelli, P. (2003). Muscle oxygenation and pulmonary gas exchange kinetics during cycling exercise on-transitions in humans. *Journal of applied physiology*, 95(1), 149-158.
- Hauswirth, C., & Mujika, I. (Eds.). (2013). *Recovery for performance in sport*. Human Kinetics.
- Hegner, J. (2006). *Training-fundiert erklärt. Handbuch der Trainingslehre*. Ingold.
- Hing, W. A., White, S. G., Bouaaphone, A., & Lee, P. (2008). Contrast therapy—a systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 9(3), 148-161.
- Hitzschke, B., Holst, T., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2016). Entwicklung des akutmaßes zur erfassung von erholung und beanspruchung im sport. *Diagnostica*.
- Hof, W., & De Jong, K. (2018). *Nie wieder krank: Gesund, stark und leistungsfähig durch die Kraft der Kälte*. Riva Verlag.
- 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), e0139028.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2017). Theorien und Modelle der Adaption an Training. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (S. 421- 431). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Hottenrott, K., & Seidel, I. (Eds.). (2017). *Handbuch Trainingswissenschaft-Trainingslehre*. Hofmann.
- 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.
- Järvinen, T. A., Järvinen, T. L., Kääriäinen, M., Äärimaa, V., Vaittinen, S., Kalimo, H., & Järvinen, M. (2007). Muscle injuries: optimising recovery. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 21(2), 317-331.

- Jeffreys, I., & Moody, J. (Eds.). (2016). *Strength and conditioning for sports performance*. Routledge.
- Khamwong, P., Paungmali, A., Pirunsan, U., & Joseph, L. (2015). Prophylactic Effects of Sauna on Delayed-Onset Muscle Soreness of the Wrist Extensors. *Asian Journal of Sports Medicine*, 6(2).
- Kellmann, M. (2002). Psychological assessment of underrecovery. *Enhancing recovery: preventing underperformance in athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics, 37-55.
- Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery. *Sports medicine*, 26(1), 1-16.
- Knight, K. L. (1995). *Cryotherapy in sport injury management*. Human Life Press.
- Kukkonen-Harjula, K., & Kauppinen, K. (2006). Health effects and risks of sauna bathing. *International Journal of Circumpolar Health*, 65(3), 195-205.
- Lane, K. N., & Wenger, H. A. (2004). Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 855-860.
- McGawley, K., & Bishop, D. (2006). Reliability of a 5× 6-s maximal cycling repeated-sprint test in trained female team-sport athletes. *European journal of applied physiology*, 98(4), 383-393.
- Matsumoto, S., Shimodozono, M., Etoh, S., Miyata, R., & Kawahira, K. (2011). Effects of thermal therapy combining sauna therapy and underwater exercise in patients with fibromyalgia. *Complementary therapies in clinical practice*, 17(3), 162-166.
- Müller-Wohlfahrt, H. W., Ueblicher, P., & Hänsel, L. (Eds.). (2014). *Muskelverletzungen im Sport*. Georg Thieme Verlag.
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology*, 537(2), 333-345.
- Rey, E., Lago-Peñas, C., Casáis, L., & Lago-Ballesteros, J. (2012). The effect of immediate post-training active and passive recovery interventions on anaerobic performance and lower limb flexibility in professional soccer players. *Journal of human kinetics*, 31, 121-129.
- Rowell, G. J., Coutts, A. J., Reaburn, P., & Hill-Haas, S. (2009). Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *Journal of sports sciences*, 27(6), 565-573.
- Steinmann, H. J., & Allwang, D. (2008). *Verletzungen im Sport: vermeiden-behandeln-therapieren*. Elsevier Health Sciences.

- Rupp, K. A., Selkow, N. M., Parente, W. R., Ingersoll, C. D., Weltman, A. L., & Saliba, S. A. (2012). The effect of cold water immersion on 48-hour performance testing in collegiate soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2043-2050.
- Soultanakis, H. N., Nafpaktiitou, D., & Mandaloufa, S. M. (2015). Impact of cool and warm water immersion on 50-m sprint performance and lactate recovery in swimmers. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(4), 267-272.
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European journal of applied physiology*, 113(1), 147-155.
- Timmermann, A., & Steubl, D. (2009). *Rehabilitation nach Sportverletzungen: die Einflussnahme des Physiotherapeuten durch die Anwendung alternativer Trainingsmethoden*. Akademische Verlagsgemeinschaft München.
- Vaile, J. (2007). Recovery: research and practice. *Mod Ath Coach*, 45(3), 37-42.
- Vaile, J., Gill, N. D., & Blazevich, A. J. (2007). The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 697-702.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International journal of sports medicine*, 29(07), 539-544.
- Vaile, J., O'Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N., & Askew, C. D. (2011). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *British journal of sports medicine*, 45(10), 825-829.
- Wegmann, M., Faude, O., Poppendieck, W., Hecksteden, A., Fröhlich, M., & Meyer, T. (2012). Pre-cooling and sports performance. *Sports medicine*, 42(7), 545-564.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion. *Sports medicine*, 36(9), 747-765.
- Wiewelhove, T. & Ferrauti, A. (2017). Regeneration nach Training und Wettkampf. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (S. 421- 431). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Yeung, S. S., Ting, K. H., Hon, M., Fung, N. Y., Choi, M. M., Cheng, J. C., & Yeung, E. W. (2016). Effects of cold water immersion on muscle oxygenation during repeated bouts of fatiguing exercise: a randomized controlled study. *Medicine*, 95(1).
- Zois, J., Bishop, D., Fairweather, I., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). High-intensity re-warm-ups enhance soccer performance. *International journal of sports medicine*, 34(09), 800-805.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasen der Regeneration nach Müller-Wolfahrt et al. (2014, S.109f.).....	15
Abbildung 2: Ablauf der achtwöchigen Testung (Quelle: Vaile et al (2008, S.540)).....	40
Abbildung 3: Ablauf des Belastungsprogramms (Quelle: Vaile et al (2008, S.540)).....	40
Abbildung 4: Änderung in der Sprintleistung an fünf aufeinander folgenden Tagen nach hoher Intensität (Quelle: Vaile et al (2008, S.541)).....	41
Abbildung 5: Handgriffstärke im Vergleich (Quelle: Soultanakis et al (2015, S.270)).....	44
Abbildung 6: Herzfrequenz im Vergleich der beiden Gruppen (Quelle: Yeung et al (2016, S.4))	46
Abbildung 7: Muskelkater auf einer 10-Punkte-Likert-Skala, Serumkreatinkinase und Serum-c-reaktive Proteinkonzentrationen vor und unmittelbar nach dem Training und 24 h und 48 h nach dem Training (n = 11) (Quelle: Ingram et al 2008, S.419)	48
Abbildung 8: Beste Sprintzeit über 20m, Gesamtzeit für 10m x 20m Sprints und isometrische Kraftausgabe für Beinstreckung, Beinbeugung und Hüftbeugung vor und unmittelbar nach dem Training sowie 48 h nach dem Training. (Quelle: Ingram et al 2008, S.420)	49
Abbildung 9: Blutlaktatkonzentration im Vergleich (Quelle: Bastos et al. (2012))	51
Abbildung 10: Analyse der HFV und Rückmeldung auf eine Standardabweichung der normalen R-R-Intervalle (SDNN) (Quelle: Bastos et al. (2012)	52
Abbildung 11: Natürlicher Log der Hochfrequenzdichte (Quelle: Bastos et al. 2012).....	52
Abbildung 12: Rating der Spieler über Muskelkater und wahrgenommene Müdigkeit zu verschiedenen Zeitpunkten.....	54
Abbildung 13: Testverlauf der zwei Belastungstage (Quelle: Ray et al. 2012).....	57
Abbildung 14: Vergleich der Mittelohr-Temperatur (Quelle: Costello et al. 2012)	62
Abbildung 15: Muskelkaterrating der Probanden im Vergleich (Quelle: Costello et al. 2012)	62
Abbildung 16: Ablauf der Studie (Quelle: Khamwong et al. 2015)	64
Abbildung 17:Relative Veränderungen des Bewegungsumfangs bei passiver Verlängerung (PE).....	65
Abbildung 18:Subjektives Schmerzempfinden beider Gruppen (Quelle: Khamwong et al. 2015)	65
Abbildung 19: Normalisierte Veränderungen der Handgelenksstreckung (WES) mit schmerzfreiem Basiswert	66
Abbildung 20: Normalisierte Veränderungen der Griffstärke (GS) mit schmerzfreiem Basiswert	66

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle a: Übersicht über die Wirkung von Wärme und Kälte.....	17
Tabelle b: Übersicht über die Evidenz der Wirksamkeit der Regenerationsverfahren.....	23
Tabelle c: Operatorenliste.....	26
Tabelle d: Ergebnisse zwischen der Warmwasserimmersion (WI) versus keiner Immersion (NI) und Kaltwasserimmersion (CI) vs keiner Immersion (Quelle: Soultanakis et al (2015, S.269)).....	44

Tabelle 1: Effekte der passiven Erholung und der CWI in Bezug auf den CMVJ (Quelle: Rupp et al. 2012)	56
Tabelle 2: Subjektives Befinden der Sportler/innen bzgl. der wahrgenommenen Müdigkeit der unteren Extremitäten (Quelle: Rupp et al. 2012)	56
Tabelle 3: Effekte der passiven Erholung und der CWI bzgl. des YIRT (Quelle: Rupp et al. 2012)	56
Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Flexibilität des Quadrizeps, des hinteren Oberschenkels, des Adduktors und des Gastrocnemius (ausgedrückt in Grad)	59
Tabelle 5: CMJ Höhe, 20 m Sprint Zeit und Balsom Agility Test Zeit für die aktive Recovery-Gruppe und passive Gruppe zu Beginn der Studie und 24 Stunden nach der Trainingseinheit	59
Tabelle 6: Vergleich von absoluten, relativen und variablen Winkelfehlern des rechten Kniegelenks (Quelle: Costello et al. 2012)	61
Tabelle 7: Änderungen der absoluten Werte (Mittelwert $\pm$ SD) und der mittleren Differenz zwischen den Gruppen (95% CI) für die Messungen vor (pre), sofort (Immediately) und 1 - 8 Tage nach der Übung (Quelle: Khamwong et al. 2015)	65
Tabelle 8: Physiologische Messungen des intermittierenden Laufintervalltraining (Quelle: Anderson et al. 2018)	67
Tabelle 9: Die Ergebnisse der Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten (Quelle: Anderson et al. 2018)	68
Tabelle 10: Änderung der Werte, bezogen auf die Basismessungen der PPO und MPO zu verschiedensten Zeitpunkten (Quelle: Anderson et al. 2018)	69

9. Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B.: für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z.B.: Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

Wien, Juni 2018