



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Auswirkungen der Ganzkörper-Kältetherapie  
bzw. WBC und PCB in Kältekammern nach kör-  
perlicher Beanspruchung auf die Erholungs- und  
Leistungsfähigkeit bei Leistungs- und Freizeit-  
sportler/innen“

verfasst von / submitted by

**Clara Anna-Maria Kronfuß, BEd**

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

**Master of Education (MEd)**

Wien, 2023 / Vienna, 2023

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

UA 199 500 517 02

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

Lehramtstudium  
UF Bewegung und Sport & UF Italienisch

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan



## Danksagung

Ringrazio mia mamma Alma La Licata per esserci sempre & meinen Papi Gerhard Kronfuß für seine Unterstützung und Hilfsbereitschaft durch mein ganzes Leben. Ohne Eure Unterstützung wäre ich nicht da, wo ich jetzt bin. ♥

Ich bedanke mich ebenfalls bei meiner Prinzessin Julia Grogger, die mich durch meine ganze Unizeit begleitet hat und mir bei der Korrektur der Arbeit geholfen hat.

Ein Dank gilt ebenfalls meinen Betreuer Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan der für jegliche Fragen sofort zur Stelle war.



## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Schnelle und effektive Regenerationsmethoden rücken durch die großen Wettkampf- bzw. Trainingsbelastungen im Sport immer mehr in den Vordergrund. Eine relativ neue Regenerationsmethode ist die Ganzkörpertherapie auch „whole body cryotherapy“ (WBC) bzw. „partial body therapy“ (PBC) genannt.

**Ziel:** Das Ziel dieser Masterarbeit war es die Auswirkungen von WBC bzw. PBC auf die Regenerations- und Leistungsfähigkeit bei Leistungs- und Freizeitsportler/innen zu beschreiben.

**Methodik:** Die wissenschaftliche Fragestellung wurde anhand einer systematischen Literaturanalyse beantwortet. Dafür wurden relevante Studien aus der Online-Datenbank „PubMed“, nach diversen Auswahlkriterien („athlete“, „adults“, „whole body cryotheapy“, „partial body cryotherapy“, usw.) ausgesucht, analysiert und zur Beantwortung der Fragestellung herangezogen. Insgesamt wurden 82 Studien gefunden, von denen 22 alle Auswahlkriterien und die Anforderungen der Volltextanalyse erfüllten.

**Ergebnisse:** In allen Studien wurde durch die WBC bzw. PBC die Körpertemperatur für circa 10 Minuten stark gesenkt. Durch diesen Effekt kam es zu verschiedenen physiologischen und leistungsspezifischen Auswirkungen, die jedoch nur selten zwischen den analysierten Studien einstimmig waren. So konnten bei der Laktatkonzentration, der maximale Sauerstoffaufnahme, der Kreatinkinase, das Myoglobin, dem C-reaktives Protein und bei verschiedenen Zytokinen keine eindeutigen Effekte nach WBC festgestellt werden. Insgesamt wurden vermehrt positive Effekte bei den Testosteronwerten, exzentrischen Belastungen, Sprintfähigkeit, maximalen Drehmoment, Schlageffizienz beim Tennis und Schmerzempfinden nach WBC beobachtet. Negative Auswirkungen nach WBC wurden nach einem Marathonlauf beschrieben.

**Schlussfolgerung:** Trotz häufig diskutierter auch negativer Auswirkungen von Ganzkörperkälteinterventionen nach Belastung wurden im folgenden Review vor allem positive bzw. keine Auswirkungen auf die Regeneration- und Leistungsfähigkeit beobachtet. Abschließend soll erwähnt werden, dass es auf diesem Gebiet noch zu wenige Studien gibt, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen.

## Abstract

**Background:** Fast and effective regeneration methods are becoming more and more important due to the great strain in competition and training. A relatively new regeneration method is the „whole body therapy“ (WBC) or "partial body therapy" (PBC).

**Aim:** The aim of this master's thesis was to describe the effects of WBC and PBC on the ability to regenerate and perform in physically active persons.

**Methods:** The scientific question was answered using a systematic literature analysis. For this purpose, relevant studies from the online database "PubMed" were selected according to various selection criteria ("athlete", "adults", "whole body cryotherapy", "partial body cryotherapy", etc.), analyzed and used to answer the question. A total of 82 studies were found, of which 22 met all selection criteria and the requirements of the full-text analysis.

**Results:** In all studies, body temperature was significantly reduced for about 10 minutes by WBC or PBC. This effect resulted in various physiological and performance-related effects, but these were rarely consistent between the studies analyzed. No clear effects after WBC could be determined for the lactate concentration, the maximum oxygen uptake, the creatine kinase, the myoglobin, the C-reactive protein and for various cytokines. Overall, increased positive effects were observed in testosterone levels, eccentric loads, sprinting ability, maximum torque, tennis stroke efficiency and pain perception after WBC. Negative effects after WBC have been described after running a marathon.

**Conclusion:** Despite frequently discussed and negative effects of whole-body cold interventions after exercise, the following review mainly observed positive or no effects on the ability to regenerate and perform. Finally, it should be mentioned that there are still not enough studies in this area to come to meaningful results.

# Inhalt

1. Einleitung.....	1
1.1. Aktualität und Problemstellung des Themas .....	1
1.2. Struktur der Arbeit .....	2
1.3. Einfluss von körperlicher Belastung auf den Körper.....	3
1.4. Ermüdung und Erholung im sportlichen Bereich .....	4
1.4.1 Metabolische Ursachen .....	6
1.4.2. Mechanische Ursachen.....	6
1.4.3. Neuronale Ursachen von Ermüdung .....	7
1.4.4. Messung von Ermüdung .....	8
1.5. Regeneration und Leistungsfähigkeit.....	9
1.6. Regenerationsfördernde Maßnahmen .....	10
1.6.1. Ernährung und Nahrungsergänzungsmittel.....	12
1.6.2. Schlaf und Ruhephasen.....	12
1.6.3. Psychologische Entspannungsstrategien .....	12
1.6.4. Formen der aktiven Erholung.....	13
1.6.5. Formen der Massage .....	13
1.6.6. Formen der Wärme- bzw. Kälteapplikation.....	14
2. Kältetherapie.....	16
2.1. Historischer Einblick in die Kältetherapie .....	16
2.2. Anwendung der Ganzkörpertherapie .....	18
2.3. Wirkungsmechanismus der Ganzkörperkältetherapie .....	20
2.3.1. Nerval-reflektorische Vorgänge.....	21
2.3.2. Schmerzhemmung.....	22
2.3.3. Entzündungshemmung.....	23
2.3.4. Skelettmuskulatur und Kälteeinwirkung.....	25
2.4. Ganzkörperkälteanwendung im Leistungssport.....	26
3 Methodik.....	30
3.1. Studiendesign.....	30
3.2. Darstellung der Suchbegriffe .....	31
3.3. Studienauswahl – Suchstrategie.....	31
3.4. Studienmerkmale .....	32
3.4.1. Population .....	32
3.4.2. Interventionsmaßnahme vs. Kontrollintervention.....	32

3.5. Selektion relevanter Studien .....	33
3.6. Zusammenfassung der ausgewählten Studien.....	35
3.6.1. Studienteilnehmer/-innen (participants).....	35
3.6.2. Sportliche Belastung .....	35
3.6.3. Interventionsmethode.....	36
3.6.4. Kontrollmethode .....	36
3.6.5. Test.....	36
3.7. Zusammenfassung der einzelnen Studien.....	37
4. Ergebnisse.....	57
4.1. Physiologische Komponenten.....	57
4.2. Blutmarker .....	60
4.3. Leistungsfähigkeit.....	66
5. Diskussion .....	73
Conclusio.....	87
Literatur .....	89
Anhang.....	95

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf der Regenerationsphase (beeinflusst durch Belastungsintensität, -dauer und -qualität) (Wiewelhove 2020: 470).....	5
Abbildung 2: Prinzip der Superkompensation (akademie-sport-gesundheit.de).....	10
Abbildung 3: Verschiedene Regenerationsmethoden und deren Anwendungszeit (Wiewelhove 2020: 506) .....	11
Abbildung 4: Allgemeine Wirkungsvorgänge der Adaptionstherapie ((Papenfuß 2005: 12 ) .....	17
Abbildung 5: Vorgänge bei der Ganzkörperkältetherapie (Papenfuß 2005: 13).....	17
Abbildung 6: Verschiedene Formen der Kältekabinen bzw. -kammern (Herz 2016, fitnessmarkt.de, fini-resort-badenweiler.de).....	19
Abbildung 7: Körpertemperatur vor und nach dreiminütiger WBC Intervention (Herz 2016) .....	21
Abbildung 8: Gedankengang zur Auswahl des Themas.....	28
Abbildung 9: Abbildung 9: Erste Gedanken und Annahmen zur Arbeit.....	29
Abbildung 10: Flussdiagramm der ausgewählten Studien.....	34
Abbildung 11: Körpertemperatur vor, während und nach einer WBC und CON-Intervention (Kojima et al. 2018: 5).....	59
Abbildung 12: CRP nach WBC, CWT, CWI, CON (Chaoyi et al. 2020: 333).....	62
Abbildung 13: Auswirkungen von WBC auf Testosteron, Cortisol und dessen Verhältnis (Russel et al. 2016: 418).....	65
Abbildung 14 Abbildung 14: Beispiel einer VAS-Schmerzskala (Schroth 2022).....	70
Abbildung 15: VAS-Skala verglichen zwischen CON, CWT, CWI und WBC (Chaoyi 2020: 333).....	70

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fragestellung nach dem PICO-Schema.....	30
Tabelle 2: Darstellung der Suchbegriffe.....	31
Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien.....	31
Tabelle 4: Auswirkungen von WBC auf $VO_{2max}$ .....	57
Tabelle 5: Auswirkungen von WBC auf die Laktatkonzentration .....	60
Tabelle 6: Auswirkungen von WBC auf die CK-Konzentration.....	61
Tabelle 7: Auswirkungen von WBC auf Zytokine.....	63
Tabelle 8: Auswirkungen der WBC auf die Maximalleistung .....	67
Tabelle 9: Auswirkungen der WBC auf das Schmerzempfinden bzw. den Muskelkater ...	71

## Abkürzungsverzeichnis

ADP	Adenosindiphosphat
AMV	Atemminutsvolumen
ATP	Adenosintriphosphat
CK	Kreatinkinase
CMJ	Counter Movement Jumps
CO	Cross Over Design
CON	Kontrollgruppe
CRP	C-reaktives Protein
CWI	Cold Water Immersion (Kaltwasserimmersion)
CWT	Contrast Water Therapy (Wechselbäder)
DALDA	Daily Analysis of Life Demands in Athletes
DJ	Drop Jumps
DOMS	Delayed Onset Muscle Soreness
EIMD	Exercise-induced Muscle Damage
HF	Herzfrequenz
HIT	High Intensive Training
HRV	Herzratenvariabilität
IG	Interventionsgruppe
IL	Interleukin
KP	Kreatinphosphat
MAP	Mittlerer arterielle Blutdruck
Mb	Myoglobin
MVIC	Maximale freiwillige isometrische Kontraktion
P <sub>i</sub>	Anorganisches Phosphat
PBC	Partial Body Cryotherapy
P <sub>max</sub>	Maximale aerobe Leistungsfähigkeit
PPO	Maximale Sprintfähigkeit am Fahrradergometer
RCT	Randomized Controlled Trial
RDF	Rate of force development

RPE	Rate of perceived exertion
RSI	Reactive strength index
SWS	Slow Wave Sleep (langsamwelliger Schlaf)
SmO <sub>2</sub>	Muskelgewebssättigung
T <sub>lim</sub>	Zeit bis zur Erschöpfung
TNF- $\alpha$	Tumor-Nekrose-Faktor-Alpha
VAS-Score	Visuelle Analogskala
VCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidausstoß
VJH	Vertikal Jump High
VO <sub>2max</sub>	Maximale Sauerstoffaufnahme
WBC	Whole Body Cryotherapy (Ganzkörperkältetherapie)

# 1. Einleitung

## 1.1. Aktualität und Problemstellung des Themas

Durch die großen Wettkampf- bzw. Trainingsbelastungen im Sport rücken schnelle und effektive Regenerationsmethoden, um konstant höher werdende Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, immer mehr in den Vordergrund (Meyer et al., 2016). Durch verschiedene Ressourcen soll versucht werden, physiologische Stressoren wie Ermüdung des Bewegungsapparates, des Nerven- bzw. Stoffwechselsystems, aber auch belastungsinduziertem Muskelkater und anschließender Leistungsminderung entgegenzuwirken und bestmöglich für die Leistungssteigerung zu nutzen (Costello et al., 2012). Jedoch sind der Ermüdungs- bzw. der Erholungsprozess komplexe und multifaktorielle Phänomene, die durch individuelle und umweltspezifische Besonderheiten auf den menschlichen Organismus (z.B. zentrales-, autonomes Nervensystem, Bindegeweben, Muskulatur, usw.) in verschiedenen zeitlichen Abständen, Geschwindigkeiten und Ausprägungen stattfinden (Wiewelhove, 2020).

Neben der wissenschaftlich bewiesenen Bedeutung von Ernährung und Schlaf auf die Leistung und Regeneration gibt es zusätzlich, nur selten wissenschaftlich belegte Maßnahmen, die in der Praxis vermehrt Anwendung finden (Meyer, 2015; Wiewelhove, 2020). Zu den bekanntesten Regenerationsstrategien zählen aktive Erholung (Stretching, Nachdehnen), Massagen und Foam Rolling, Schlaf bzw. Power Naps, Kompressionskleidung, sportpsychologische Erholungsstrategien, sowie Wärme- und Kälteapplikationen (Meyer, 2015; Wiewelhove, 2020). Diese Arbeit wird sich mit den Effekten von Kälteapplikationen auf die Leistungs- bzw. Regenerationsfähigkeit beschäftigen.

Es werden verschiedene Formen der Kälteinterventionen unterschieden. Die bekanntesten sind die Kaltwasserimmersion (CWI), die Ganzkörperkältetherapie in Kältekammern, auch whole-body cryotherapy (WBC) genannt, und die Kryosauna, auch bekannt unter partial-body cryotherapy (PBC), da die Kopfregion keinem Kältereiz ausgesetzt wird (Wiewelhove, 2020). Es wird angenommen, dass durch die Kälteanwendung die Muskeltemperatur gesenkt, Schmerzen und Muskelkrämpfe gelindert und der Entzündungsprozess reduziert werden kann. Dadurch soll der Regenerationsprozess nach Belastung unterstützt werden und bei richtiger Anwendung zu einer Leistungssteigerung beitragen (Costello et al., 2012; Śliwicka et al., 2020).

Vor allem WBC bzw. PBC erfreuen sich zunehmender Beliebtheit im sportlichen Bereich. Studien zeigen, dass durch WBC zusätzlich zu den genannten positiven Effekten, die anaerobe Kapazität erhöht, der Gesamtoxidationsstatus im Plasma gesenkt und die Konzentration von Cortisol verändert werden kann (Wiewelhove, 2020). Die REGman Studie 2016, konnte durch WBC ebenfalls eine Verbesserung in sprint- und schnellkraftdominierenden Sportarten dokumentieren, aber wenige Effekte im Ausdauer- und Maximalkraftbereich (Meyer et al., 2016). Eine Studie von Costello et al. (2012) hingegen ergab, dass sich die WBC auch negativ auf den Regenerationsprozess auswirken kann. Magalhães et al. (2020) beschreiben, dass es durch Kälteinterventionen auch zu Endothelschäden<sup>1</sup> kommen kann.

Schlussfolgernd zeigt sich, dass die Effekte, sowie die richtige Anwendung von WBC und PBC im sportlichen Bereich noch unzureichend schlüssig gemacht worden sind (Meyer et al., 2016; Costello et al., 2016). Deshalb soll das Ziel dieser Arbeit sein, einen Gesamtüberblick über den zum derzeitigen Forschungsstand dieser Maßnahmen (WBC und PBC) im regenerativen und leistungssteigernden Bereich und effektive Anwendungsrichtlinien zu geben. Die Forschungsfrage lautet:

*„Was sind die Auswirkungen von einer Ganzkörper-Kältetherapie bzw. Whole Body Cryotherapy (WBC) bzw. PBC in Kältekammern nach körperlicher Beanspruchung auf die Erholungs- und Leistungsfähigkeit bei Leistungs- und Freizeitsportler/innen?“*

## 1.2. Struktur der Arbeit

Die Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut. Das erste Kapitel behandelt den Einfluss von körperlicher Belastung auf den Körper und wie sich Ermüdung und Erholung im sportlichen Bereich auswirkt. Anschließend wird versucht einen groben Überblick über die verschiedenen Ursachen und Auswirkungen von Ermüdung zu geben und die bekanntesten und häufigsten Regenerationsmaßnahmen werden beschrieben. Im zweiten Kapitel wird auf die Kältetherapie eingegangen, verschiedene Formen davon beschrieben und dessen Anwendungen und Wirkungen auf den Körper beschrieben. Zuletzt wird noch auf die Ganzkörpertherapie im Zusammenhang mit Leistungssport eingegangen. Das dritte Kapitel beschreibt die Methodik und präsentiert eine Tabelle, die alle ausgewählten Studien des Reviews zusammenfasst. Anschließend werden die einzelnen ausgewählten Studien

---

<sup>1</sup> Durch Endotheliale Dysfunktion kann die dünne Schicht aus Endothelzellen im inneren der Blutgefäße gestört werden und sich auf die Gefäßerweiterungsregulation und Gefäßpermeabilität auswirken und zur Thrombozytenaggregationshemmung führen oder Entzündungsvorgänge negativ beeinflussen.

beschrieben. Das vierte Kapitel fasst die Ergebnisse aus den Studien zusammen und beschreibt die physiologischen und leistungsbezogenen Auswirkungen von der Ganzkörpertherapie und Leistungsfähigkeit. Im fünften Kapitel, bzw. in der Diskussion, werden die Ergebnisse der erhobenen Daten interpretiert und mit Hilfe von weiterer, aktueller Literatur diskutiert.

### 1.3. Einfluss von körperlicher Belastung auf den Körper

Körperliche Belastung führt zur Änderung verschiedener Parameter im Körper (Röcker & Kiesewetter, 2022), denn durch die belastungsinduzierte Entzündung wird der Körper in eine Stresssituation gebracht und versucht durch verschiedene Reaktionen die Homöostase des Organismus wiederherzustellen. So kommt es durch Freisetzung der proinflammatorischen Mediatoren (Prostaglandine, Histamin, Leukotriene, Chemokine und Zytokine), die von verschiedenen Körperzellen (Makrophagen, T-Lymphozyten, Endothelzellen) sezerniert werden, zu einer erhöhten vaskulären Permeabilität und Rekrutierung von Leukozyten. Dies hat Auswirkungen auf die Entzündung, Immunabwehr, Gewebereparatur, Körperfunktionen usw. (Röcker & Kiesewetter, 2022).

Die erste Phase bei einer Gewebsschädigung wird als Akute-Phase-Reaktion (APR) bezeichnet. Es kommt zu einer unspezifischen Immunreaktion in die vorwiegend inflammatorischen Zytokine (für interzelluläre Interaktion und Kommunikation verantwortlich), die verschiedene Mechanismen und Organsysteme in Gang setzen (Röcker & Kiesewetter, 2022). Es gibt verschiedene Arten von Zytokinen, wie beispielsweise Chemokine, Interleukine oder Tumornekrosefaktoren (TNF). Am Abwehrmechanismus beteiligt sind vor allem proinflammatorische Zytokine, wie Interleukin-1 $\beta$ , Interleukin-6 und der Tumornekrose Faktor (TNF) (Röcker & Kiesewetter, 2022). Kommt es zu einer Schädigung der Muskulatur, wird als erstes das Zytokin Tumor-Nekrose-Faktor-Alpha (TNF- $\alpha$ ) produziert. Dieses übernimmt verschiedene Funktionen, wie beispielsweise den Syntheseprozess der IL-1 und IL-6 Interleukine und die Hemmung der antiinflammatorischen Zytokine wie IL-10 und IL-13 (Röcker & Kiesewetter, 2022). Somit kommt es zu Reaktionen wie Fieber oder zu einer Erhöhung der Leukozytenkonzentration. Je intensiver die körperliche Beanspruchung und somit die Muskelschädigung ist, desto höher ist der Leukozytenanstieg (Röcker & Kiesewetter, 2022). Durch Stimulation des IL-6 kommt es ebenfalls zu einem Anstieg des C-reaktiven Protein (CRP), ein Plasmaprotein und wichtiger Bestandteil des Immunsystems für humorale und zelluläre Abwehrmechanismen. Erhöhte belastungsinduzierte Konzentrationen von beispielsweise IL-6 und CRP erreichen

ihre höchsten Konzentrationswerte (besonders bei intensiven Belastungen) verzögert (circa 24 h danach) und normalisieren sich nach wenigen Tagen (Röcker & Kiesewetter, 2022). Ebenfalls kommt es nach einer Belastung zur Freisetzung des Glucocorticoids Cortisol, welches eine antiinflammatorische Wirkung auf den Organismus hat (Röcker & Kiesewetter, 2022).

Nach ungewohnt intensiver, körperlicher Belastung und die dadurch entstehende erhöhte Durchlässigkeit der Muskelzellmembran, kommt es ebenfalls zu einer Erhöhung der CK (Kreatinkinase) Konzentration im Blut. Diese stellt im Muskel kurzfristige Energiereserven durch Kreatinphosphat bereit und spielt somit eine wichtige Rolle bei der Energiegewinnung. Je intensiver der vorgegangene Belastungsreiz auf den Körper war, desto höher wird der CK-Wert ansteigen und kann bis 36h nach Belastung erhöht bleiben (Röcker & Kiesewetter, 2022).

Andere Parameter, die durch körperliche Belastung verändert werden können, sind beispielsweise Blut- und Plasmavolumen, Blutbestandteile (z. B. Anstieg Hämatokrit, Hämoglobin, Erythrozyten), Muskelzellen (Größe, Fläche, Mitochondrienanzahl), usw. (Röcker & Kiesewetter, 2022).

#### 1.4. Ermüdung und Erholung im sportlichen Bereich

Das Anstreben nach kontinuierliche Leistungsentwicklung im sportlichen Bereich und die durch Training bzw. Wettkämpfe ausgelösten Ermüdungs- und Regenerationsprozesse stehen in ständiger Wechselwirkung zueinander und machen es somit unausweichlich Ermüdungserscheinungen und Erholungsinterventionen im Trainingsprozess zu berücksichtigen. Ermüdung im sportlichen Bereich bedeutet, dass es nach muskulärer Tätigkeit vorübergehend zu einer Störung des inneren Gleichgewichtszustands des Organismus (Homöostase) und folglich zu einer Minderung der körperlichen und psychischen Leistungsfähigkeit kommt. Typische Ermüdungssymptome sind beispielsweise ein Konzentrationsabfall und damit verbunden mehr technische und taktische Fehler, Nachlassen der Muskelkraft und Schnelligkeit, Abgeschlagenheit, usw. (Wiewelhove, 2020). Dieser Ermüdungszustand kann aber im Sinne der Superkompensation<sup>2</sup>, als beabsichtigt betrachtet werden und eine wichtige Voraussetzung für Anpassungsprozesse im Körper sein (Wiewelhove, 2020; Meyer et al., 2016). Damit es zu diesen Anpassungserscheinungen, die sich in den Phasen zwischen bzw. hauptsächlich nach den

---

<sup>2</sup> Siehe Kapitel 1.5. Regeneration und Leistungsfähigkeit

Trainingseinheiten entwickeln, kommt, muss es in der Regenerationsphase gelingen den optimalen Verlauf dieser Anpassungen zu gewährleisten und schnellstmöglich den durch die Ermüdung bedingten Leistungsabfall entgegenzuwirken (Friedrich, 2014).

Ermüdungserscheinungen können verschiedene Ursachen haben und verschiedene Funktionsebenen des Körpers, wie beispielsweise Muskulatur, Bindegewebe, Psyche oder das Hormonsystem, betreffen. Es werden grob zwei verschiedene Formen der Ermüdung unterschieden. Einerseits die akute und andererseits die chronische bzw. mittelfristige Ermüdung. Akut meint Ermüdungserscheinungen, die noch während dem Training bzw. im direkten Anschluss an die körperliche Tätigkeit (Training, Wettkampf) stattfinden und nach einigen Minuten bzw. Stunden wieder abklingen (z. B. Herzfrequenz, Blutlaktatkonzentration, Körpertemperatur, Sauerstoffaufnahme). Mittelfristige Formen hingegen können auch noch Tage bis Wochen danach festgestellt werden (z. B. Muskelglykogen, Muskelkater, Muskelfunktion) (Abb. 1). Der Schweregrad der Ermüdung und der darauffolgende Erholungsprozess hängen von mehreren Faktoren ab. Dazu zählen neben umweltbezogenen Faktoren, wie Umfang, Intensität, Qualität und Art der Belastung auch individuelle Besonderheiten des menschlichen Organismus, wie beispielsweise Muskel- und Bindegewebe, zentrales bzw. autonomes Nervensystem oder das Hormonsystem (Wiewelhove, 2020).

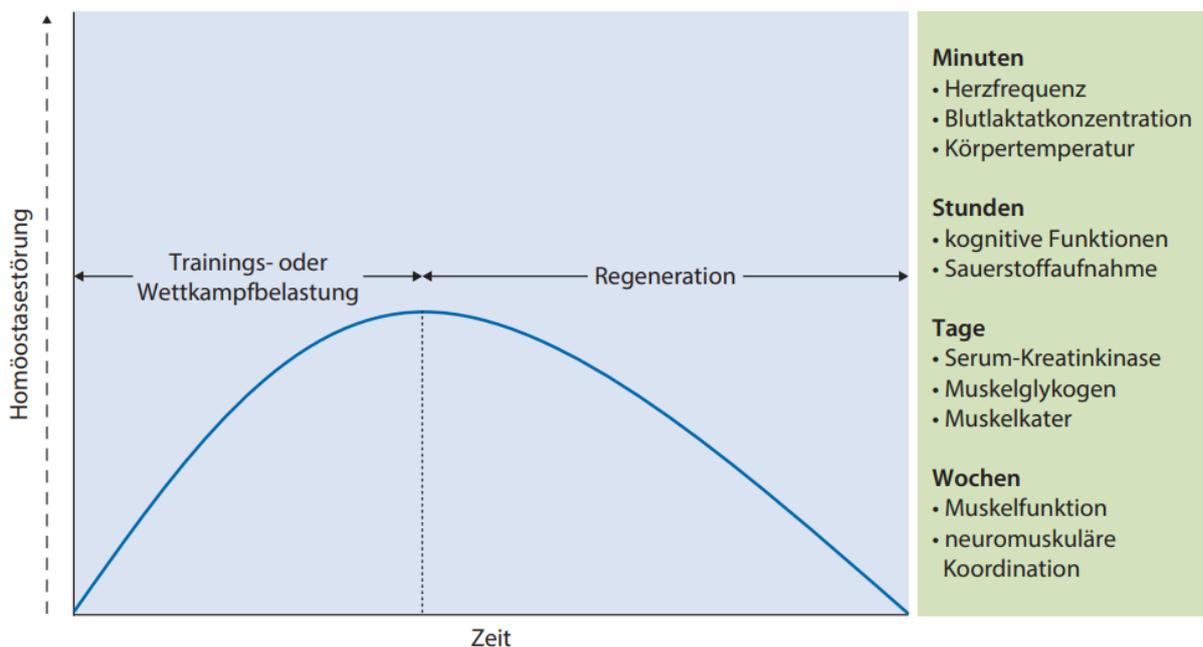


Abbildung 1: Verlauf der Regenerationsphase (beeinflusst durch Belastungsintensität, -dauer und -qualität) (Wiewelhove, 2020: 470)

Neben der zeitlichen Unterscheidung und dem Schweregrad der Ermüdung wird ebenfalls die Art der Ermüdung differenziert. Hierbei werden muskulär-periphere (metabolisch und mechanisch) Effekte und neuronal-zentrale (spinale und supraspinal) Effekte unterschieden, die sich jedoch auch gegenseitig beeinflussen können (Wiewelhove, 2020). Die folgenden Unterkapitel setzen sich genauer mit den verschiedenen Ermüdungsursachen auseinander.

#### 1.4.1 Metabolische Ursachen

Metabolische Ermüdungsprozesse werden vor allem durch Entleerung der Energiereserven, Substratverbrauch (Adenosintri-phosphat (ATP), Kreatinphosphat (KP), Glykogen) und der zusammenhängenden Anhäufung von Metaboliten (Adenosindiphosphat ADP, anorganisches Phosphat  $P_i$ , Laktat) ausgelöst. Diese Komponenten beeinflussen die akute Muskelermüdung während und unmittelbar nach dem Sport, da es durch ihren Verbrauch zu einem Ungleichgewicht zwischen den Energiespeichern kommt (Wiewelhove, 2020). Nimmt die ATP- und KP-Konzentration durch beispielsweise intensive Belastungen oder Glykogenspeicherleerung ab und die ADP und  $P_i$  Konzentration zu, wirkt sich das negativ auf die Kontraktion der Muskelfasern aus, da nur wenig Kalzium-Ionen in den Muskelzellen ausgeschüttet werden können. Als Folge kommt es zu einer Zunahme des Laktats und der Wasserstoff-Ionen Konzentration, was zu einer verminderten Kraftentfaltung führt (Wiewelhove, 2020). Betroffen sind vor allem Maximalkraft- bzw. Schnellkraftleistungen bei denen bevorzugt schnell kontrahierende Muskelfasern (Typ-IIA und Typ-IIX) beansprucht werden. Diesbezüglich besitzt der Körper nicht genügend Reserven, um über längere Zeit ausreichend schnell ATP und KP zu resynthetisieren (Wiewelhove, 2020).

#### 1.4.2. Mechanische Ursachen

Darunter werden Schädigungen der Skelettmuskulatur nach körperlicher Aktivität verstanden. Die bekannteste Form ist der Muskelkater. Es handelt sich hierbei um mikroskopisch kleine Verletzungen in den Myofibrillen (Mikrotraumata), die vor allem durch ungewohnte und/oder langandauernde, intensive, exzentrische Bewegungen mit hoher Dehnungsgeschwindigkeit verursacht werden (Wiewelhove, 2020). Betroffen sind hiervon sowohl langsam zuckende Typ I Muskelfasern als auch schnell zuckende Typ-IIA und Typ-IIX, wobei auch hier schnellzuckende Muskelfasern einen höheren Schädigungsgrad erfahren, da sie eine geringere Strukturfestigkeit gegenüber mechanischen Dehnbelastungen haben. Durch wiederholende exzentrische Belastungen kommt es zu Einrissen in den Z-Scheiben, die sich in den kleinsten kontraktile Einheiten der Muskelfasern, den Sarkomeren,

befinden. Durch wiederholte Dehnbelastungen kommt es zur Öffnung dehnungssensitiver Ionenkanäle, was zusammen mit der erhöhten Durchlässigkeit der Kalzium-Ionen (Signalmoleküle) durch das Mikrotraumata dazu führt, dass es zu einem Verlust der Kalzium-Ionen Homöostase kommt. Folglich kommt es zu einem unkontrollierten Einstrom der Kalzium-Ionen in das Sarkoplasma, was zu einer enzymatischen Auflösung geschädigter Strukturproteine führen kann und zu einem kurz- bzw. mittelfristigen Muskelfunktionsverlust führen kann. (Wiewelhove, 2020). Die erhöhte intrazelluläre Kalzium-Ionen-Konzentration kann lokale Entzündungen, Verletzungskontrakturen, Muskelsteifigkeit und Beeinträchtigung der Gelenkbeweglichkeit herbeiführen (Wiewelhove, 2020).

Bei Gewebsschädigung werden auch Entzündungsmediatoren, vor allem Histamin, Prostaglandine oder Bradykinine ausgeschüttet, welche die Membranpermeabilität erhöhen und an der Vasodilatation beteiligt sind. Dies kann einerseits dazu führen, dass es zu einer Ödembildung und Schwellung an der jeweiligen Stelle kommt, andererseits, dass es zu einer gesteigerten Schmerzempfindung kommt, da sich die Mediatoren an die extrazellulären Schmerzrezeptoren binden. Die Schmerzempfindung erreicht in der Regel nach 24 bis 48 Stunden nach der Belastung den Höhepunkt und sinkt dann kontinuierlich ab (Wiewelhove, 2020). Ebenfalls kann es zu einer Beschädigung der Muskelproteine (Zytoskeletts) der Myofibrillen kommen. Das kann dazu führen, dass Proteine bzw. Enzyme (Kreatinkinase, Myoglobin, Laktatdehydrogenase) intrazellulär freigesetzt werden und in die Blutlaufbahn diffundieren. Dies macht es möglich, die muskuläre Schädigung durch eine Analyse der Blutwerte einzuschätzen (siehe Kap. 1.4.4. Messungen von Ermüdung) (Wiewelhove, 2020).

#### 1.4.3. Neuronale Ursachen von Ermüdung

Neben der körperlichen Ermüdung werden auch psychische bzw. neuronale Ermüdungserscheinungen beschrieben, wie beispielsweise negative Gefühls- und Stimmungslage. Diese entstehen häufig durch metabolische und/oder mechanische Ermüdung und betreffen den spinalen und supraspinalen Anteil des Nervensystems (neuronales Antriebsverhalten) (Wiewelhove, 2020). Nach einer muskulären Ermüdung bzw. Strukturschädigung der Muskulatur werden extrazelluläre mechano- und chemosensitive Schmerzafferenzen (Gruppe III und IV) durch die vermehrte Ausschüttung von Metaboliten (Entzündungsmediatoren wie Laktat, Erhöhung der Wasserstoff ( $H^+$ ) Ionen

und Kalium (K<sup>+</sup>) Konzentration) ausgelöst. Diese können die Reflexaktivität hemmen, die Regulation der Gelenksteifigkeit (reaktive Stiffness) verringern und eine verminderte Aktivierung von Motorneuronen bewirken, was sich folglich negativ auf die Leistungsfähigkeit (z.B. reaktive Sprungleistung) auswirken kann (Wiewelhove, 2020).

Der Gehirnstoffwechsel kann ebenfalls gestört werden und dadurch die Leistungsfähigkeit mindern, denn durch die aerob-anaerobe Energieproduktion kann es zu einer Anhäufung der zerebralen, zelltoxischen Ammoniakkonzentration<sup>3</sup> kommen.

Durch Muskelschädigungen und die dadurch entstehende Inflammationen werden auch vermehrt Myokine<sup>4</sup> im Blutplasma freigesetzt. Diese können zu einem negativen Rückkopplungsmechanismus im zerebralen Metabolismus führen und Symptome, wie negative Stimmungs- und Gefühlslage auslösen. Dadurch kann die Leistungsbereitschaft gesenkt und sich folglich negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken (Wiewelhove, 2020). Zu vermerken ist, dass die eben beschriebenen Ermüdungsformen häufig parallel ablaufen, wobei psychische Ermüdungsformen oft längere Regenerationszeiten benötigen (Friedrich, 2014).

#### 1.4.4. Messung von Ermüdung

Körperliche Ermüdung kann mit Hilfe verschiedener Messverfahren analysiert und nachgewiesen werden. Zu den häufigsten verwendeten Messungen zählen einerseits subjektive Testverfahren, wie beispielsweise Fragebögen mit verschiedenen Skalen (z. B. BORG-Skala<sup>5</sup>, DOMS<sup>6</sup>, RPE<sup>7</sup>) in denen Sportler/innen den subjektiv empfundenen Schweregrad der Belastung bzw. Erschöpfung bewerten können. Andererseits gibt es auch objektiv messbare Methoden. Dazu zählen (Meyer et al., 2016; Friedrich 2014):

- Einfache motorische Tests (z.B. Sprung-, Sprint-, Kraft- und Ausdauerests)
- Messung von Laborwerten mit Hilfe klassischer Ermüdungsindikatoren:

---

<sup>3</sup> Ammoniak wird in der Muskulatur dann gebildet, wenn verstärkt Aminosäuren (V. a. BCAAs, wichtig für Zellheilung und Zellbildung) oder die aerob bzw. anaerobe Energieproduktion angeregt wird. Bei vermehrter Anhäufung von ADP und AMP (Adenosinmonophosphat) kommt es zu Adenylatdesaminase (AMP zu IMP (Inosinmonophosphata) und Entstehung von Ammoniak.

<sup>4</sup> Myokine sind hormonähnliche Botenstoffe, die vom Muskel selbst hergestellt werden und ihre Wirkung direkt vor Ort haben (Raeder et al., 2020). Es werden verschiedene Arten von Myokinen unterschieden. So sind beispielsweise Myostatin, LIF, IL-6 und IL-7 an der Muskelhypertrophie und Myogenese beteiligt, während BDNF und IL-6 an der AMPK-vermittelten Fettoxidation beteiligt sind (Banfi et al., 2010).

<sup>5</sup> Die BORG-Skala ist ein Bewertungsverfahren, das angewendet wird, um den subjektiv empfundenen Schmerzgrad bzw. Schweregrad einer Belastung festzustellen

<sup>6</sup> DOMS (Delayed-onset muscle soreness): Skala für subjektives Schmerzempfinden

<sup>7</sup> RPE (rate of perceived exertion): Maß, um subjektiv empfundenes Belastungsempfinden zu messen

- Muskelenzym Kreatinkinase (CK)<sup>8</sup>, was vor allem für Messungen von muskulären Mikroschädigungen verwendet und vorrangig im Kraft- und Schnellkraftsportarten angewendet wird
- Harnstoff, bei metabolischen Beanspruchungen, Proteinkatabolismus, Quotient von freiem Testosteron, Cortisol (anabol-katabole Balance, v. a. im Ausdauersport angewendet)
- Entzündungsparameter (CRP, Interleukine)
- Herzfrequenz-basierende Verfahren (Messung der Herzfrequenzerholung (Heart rate recovery)), Ruhe Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität (HRV)
- Messung der Muskelkontraktilität durch Tensionmyographie (TMG) (neuromuskulär). Bei der TMG werden verschiedene Eigenschaften der Muskulatur untersucht, wie Muskelverformung [Dm], Kontraktionszeit [Tc], Kontraktionsverzögerungszeit [Td], Kontraktionserhaltungszeit [Ts], Kontraktionserholungszeit [Tr], denn durch muskuläre Ermüdungsprozesse kommt es zu Erhöhung des Muskeltonus und Muskelsteifigkeit und es können Schwellungen im jeweiligen Bereich entstehen. Folglich kommt es zu einer mittels TMG messbaren Abnahme der Kontraktionszeit (Meyer et al., 2016: 27).

### 1.5. Regeneration und Leistungsfähigkeit

Jede Trainingsplanung muss verschiedene Prinzipien berücksichtigen, damit es zu optimalen Anpassungserscheinungen und Leistungssteigerung bei den Sportler/innen kommt. Das Prinzip der optimalen Relation von Belastung und Erholung besagt, dass je nach Trainingsbelastung der Körper eine bestimmte Zeit braucht, um die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit wiederherzustellen (Ferrauti & Remmert, 2020). Weiters können optimale Regenerationsmaßnahmen nach einer Belastung dazu führen, dass sich nach Absinken der körperlichen bzw. psychischen Leistungsfähigkeit und nach einer gewissen Erholungszeit das Leistungsniveau über das Ausgangsniveau kurzfristig steigert (Leistungsspeak), denn der Körper überkompensiert, um besser auf anstehende Belastungen reagieren zu können. Dies wäre der optimale Zeitpunkt für eine erneute Belastung, damit es langfristig zu einer Leistungssteigerung, ohne Übertraining kommen kann (Prinzip der Superkompensation) (Abb. 2) (Ferrauti & Remmert, 2020). Werden jedoch die Erholungszeiten nicht konsequent eingehalten, kann es zu Verarmung der Energiespeicher, zu Überbelastungen,

---

<sup>8</sup> CK ist dafür verantwortlich, Kreatinphosphat als kurzfristige Energiereserve bereitzustellen und zu ermöglichen, dass ADP wieder zu ATP umgewandelt werden kann.

Leistungsstagnationen oder zu einem andauernden Leistungsabfall kommen (Wiewelhove, 2020).

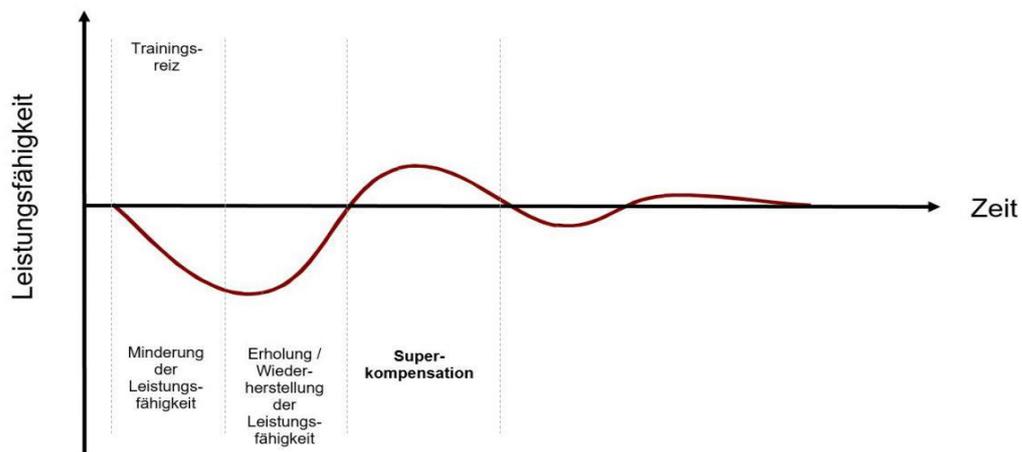


Abbildung 2: Prinzip der Superkompensation ([akademie-sport-gesundheit.de](http://akademie-sport-gesundheit.de))

In der Trainingsplanung wird versucht körperliche Regenerationsprozesse zu beschleunigen, um die Ermüdungskurve (Abb. 2) schneller auf Ausgangsniveau zu bringen und frühzeitiger Belastungsreize (Trainingsumfang, -intensität) setzen zu können (Ferrauti & Remmert 2020). So rücken verschiedene Regenerationsmaßnahmen in den Vordergrund.

### 1.6. Regenerationsfördernde Maßnahmen

Strukturierte und optimal gestaltete Erholungsmaßnahmen können die Regenerationszeit beschleunigen, die Leistungsfähigkeit schneller wiederherstellen, Übertraining vermeiden, die Trainingstoleranz hinsichtlich Trainingsdichte, -intensität und -umfang steigern und das Verletzungsrisiko reduzieren (Meyer et al., 2016; Wiewelhove, 2020). Neben der großen Bedeutung der Ernährung und der Schlafqualität, gibt es weitere Interventionsmaßnahmen deren wissenschaftliche Evidenz für ihre Effektivität jedoch nur selten gegeben ist. Welche Regenerationsmaßnahmen geeignet und sinnvoll sind, hängt einerseits von den individuellen Bedürfnissen der Sportler/innen ab, andererseits auch von der jeweiligen Sportart und den individuellen Bedürfnissen der Athlet/innen (Meyer et al., 2016). So wird im Tennistraining beispielsweise vermehrt progressive Muskelentspannung und Stretching praktiziert, während im Triathlon mehr auf eine spezielle Ernährung geachtet wird und Saunagänge zur Anwendung kommen (Meyer et al., 2016). Wichtig ist es, im Regenerationsprozess zu berücksichtigen, dass Erholungsprozesse nicht synchron verlaufen, sondern je nach Funktionssystem (Laktatwerte, Glykogenspeicher, Psyche) zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Zeitpunkten abgeschlossen werden (Meyer et al., 2016).

Ebenfalls konnten Studien belegen, dass der Placeboeffekt bei verschiedenen regenerativen Maßnahmen eine wichtige Rolle spielt. Deshalb sollen Interventionen, die von den Sportler/innen als überzeugend und wirksam betrachtet werden, ebenfalls praktiziert werden (Meyer et al., 2016). Oftmals kommt es in der Praxis zu Kombinationen mehrerer Erholungsmaßnahmen, wobei auch hier die Effektivität nicht deutlich belegt ist (Meyer et al., 2016). Die Interventionszeit für regenerative Maßnahmen sollte die 60 Minuten nicht überschreiten (Meyer et al., 2016).

Wiewelhove (2020) versucht anhand einer Skizze (Abb. 3) eine Richtlinie für einen optimalen Regenerationsprozess zu geben. Er schreibt, dass es nach dem Wettkampf zu einer angemessenen Nährstoffzufuhr, zu regenerativen Interventionsmaßnahmen (Kälte bzw. Wärme, Stretching, Foam Rolling, Massage), Schlaf und psychischen Ausgleich (Entspannungsinterventionen, soziale Komponenten, Freizeit) kommen sollte. Im Anschluss werden diese eben beschriebenen Formen beschrieben.

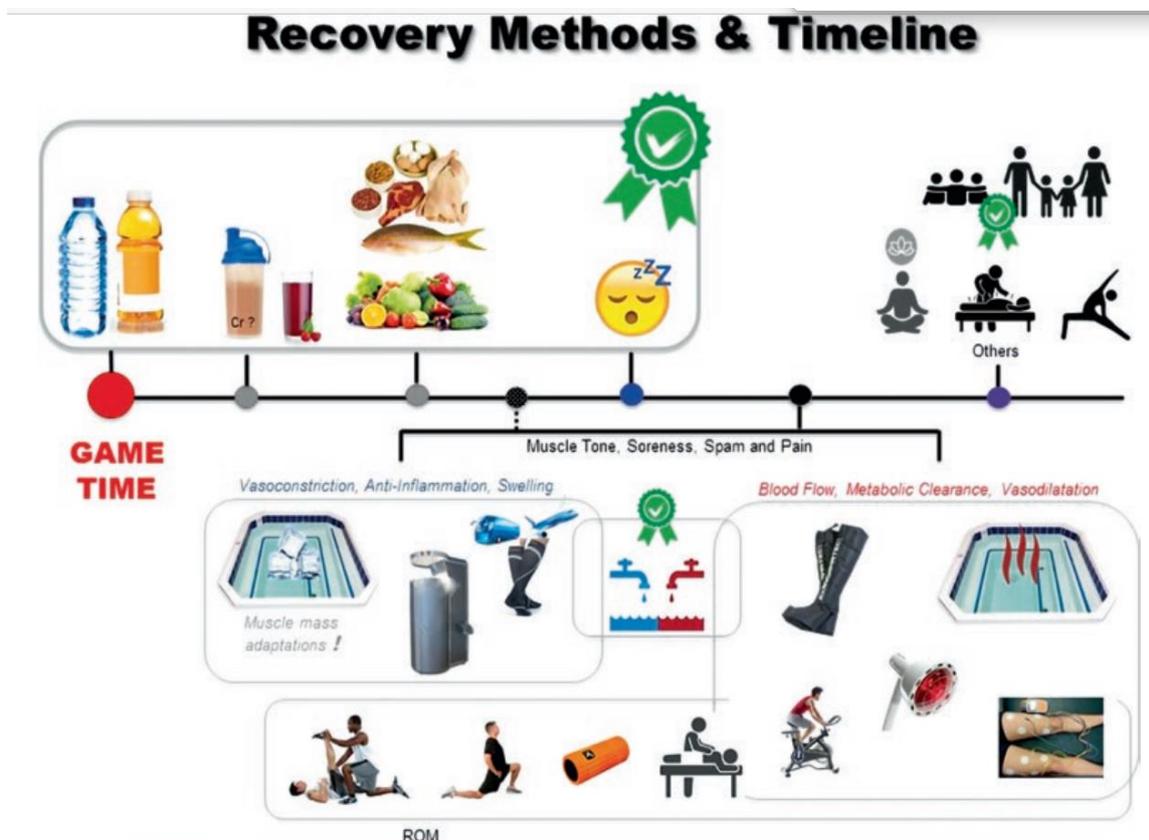


Abbildung 3: Verschiedene Regenerationsmethoden und deren Anwendungszeit (Wiewelhove, 2020: 506)

#### 1.6.1. Ernährung und Nahrungsergänzungsmittel

Ernährung spielt im Regenerationsprozess eine wichtige Rolle. Hierbei müssen sich Sportler/innen nicht nur auf die tägliche Basisernährung konzentrieren, sondern auch auf die optimale Ernährung vor, während und nach dem Wettkampf bzw. Training. Die Ernährungsempfehlungen sind je nach Sportart unterschiedlich (Friedrich, 2014). Während beispielsweise nach Belastungen im Krafttraining vor allem der Kohlenhydrat- und Proteinspeicher aufgefüllt werden muss, ist es bei Spilsportarten wichtig nach Belastung der Flüssigkeits- und Elektrolytersatz wieder aufzufüllen. Somit ergeben sich folgende Hauptziele der optimalen Ernährung: rasches Wiederauffüllen von Kohlenhydratspeichern in Muskel und Leber, Wiederherstellung des Flüssigkeits- und Elektrolythaushaltes, Wiederaufbau bzw. Aufbau der beschädigten Muskelzellen und Unterstützung des Immunsystems (Wiewelhove, 2020).

#### 1.6.2. Schlaf und Ruhephasen

Ausreichender und ungestörter Schlaf (v. a. Tiefschlafphasen) ist die wichtigste Komponente für einen optimalen Regenerationsprozess. Beim Schlafen kommt es zu wichtigen regenerativen Prozessen für den Organismus wie Gedächtnisbildung, Konsolidierung, Wiederauffüllung der Glykogenspeicher, Erholung des Immunsystems, Ausschüttung der Wachstumshormone (STH) usw. (Friedrich, 2014).

In der Trainingswissenschaft werden auch „Powernaps“ als Regenerationsintervention empfohlen. Dabei handelt es sich um kurze max. 30 min dauernde Schlafphasen, die in Studien positive Effekte auf die Regeneration und Leistungsfähigkeit (z. B. bessere Aufmerksamkeit, Wachsamkeit, Reaktion- und Sprintzeit) erzielen konnten (Meyer et al., 2016; Friedrich 2014).

#### 1.6.3. Psychologische Entspannungsstrategien

Neben den eben beschriebenen Schlafphasen gibt es auch psychologische Entspannungsstrategien. Es wird zwischen dem somatischen Ansatz, dessen Ziel es ist die Muskelspannung zu sensibilisieren (z. B. Progressive Muskelentspannung, Atemregulation) und dem kognitiven Ansatz, der vor allem das vegetative Nervensystem ansprechen soll, unterschieden (z. B. Hypnose, autogenes Training, imaginative Verfahren). Die Ziele dieser Maßnahmen sind unterschiedlich und haben je nach Interventionszeit andere Zwecke. So können sie vor dem Wettkampf störende Gedanken vermindern und die Konzentration

steigern, nach dem Wettkampf das Gefühl von Ausgeglichenheit geben, Überlastungen vermindern und dadurch die Regenerationszeit beschleunigen (Meyer et al., 2016).

#### 1.6.4. Formen der aktiven Erholung

Die aktive Erholung zählt zu den beliebtesten und einer der am häufigsten praktizierten Regenerationsinterventionen. Darunter fallen alle körperlichen Aktivitäten die von den Athlet/innen nach der Trainings- bzw. Wettkampfbelastungen ausgeführt werden. Auch werden häufig zwischen (intervallförmigen) Trainingseinheiten oder bei knapp aufeinanderfolgenden Wettkämpfen aktive Erholungseinheiten durchgeführt. Bei aktiven Erholungsformen wird versucht aerobe und dynamische Aktivitäten von großen Muskelgruppen zu ermöglichen. Dazu zählen beispielsweise langsames Laufen (Traben, Barfußlaufen, usw.), Fahrradfahren oder Ausschwimmen, aber auch koordinative Übungen (Inlineskating, kleine Spiele) oder gymnastische Übungen (statisches-, dynamisches Dehnen, Stabilisationstraining). Die Vorteile dieser regenerationsfördernden Maßnahme sind, dass es zu einer beschleunigten Homöostase, zur Aufrechterhaltung der Muskeldurchblutung und besseren Sauerstofftransport kommt. Ebenfalls kommt es zu einem verbesserten Transport von regenerationsfördernden Wirkstoffen und zum Abbau von Abfallprodukten wie beispielsweise Laktat (Meyer et al., 2016).

Durch leichtes Dehnen nach den Trainingseinheiten kann die Ruhedehnungsspannung der Muskeln schneller wieder auf Ausgangsniveau gebracht werden. Statisches Dehnen sollte hingegen als Sofortregenerationsmaßnahme vermieden werden, da es die Durchblutung der Muskulatur einschränken kann (Meyer et al., 2016).

Aktuell wird in der Wissenschaft diskutiert, ob es bei der aktiven Erholung zu einer Verzögerung der Wiedereinlagerung von Muskelglykogen durch den gesteigerten Energieumsatz kommen kann (Meyer et al., 2016).

#### 1.6.5. Formen der Massage (Sportmassage, Ausrollen, Foam Rolling, Vibrationsmassagen)

Die Formen der Massagen sind vielzählig und reichen von Effleurage (gleitende Bewegungen), Petrissage (Kneten und Pressen) bis hin zu Vibrationsmassagen und erstrecken sich meistens über einen Zeitraum von zehn bis dreißig Minuten. Die Ziele der Massage sind es, die Erholung zu beschleunigen, auf Wettkämpfe vorzubereiten und Verletzungen zu behandeln oder diesen entgegenzuwirken (Meyer et al., 2016). Massagen können die Durchblutung anregen und so zum Abtransport von Laktat und der Kreatinkinase

beitragen und Muskelverspannungen, Schmerzen und die Beweglichkeit verbessern (Meyer et al., 2016). Massagen wirken sich in Gegensatz zu den anderen Interventionsmaßnahmen besonders gut auf das Wohlbefinden aus, denn es kommt zu einer Entspannung des vegetativen Nervensystems (Meyer et al., 2016).

Foam Rolling ist neben der Massage auch eine beliebte Regenerationsmaßnahme, die selbstständig von Sportler/innen durchgeführt werden kann, um gezielt bestimmte Muskelgruppen mit Hilfe von Rollen, Bällen und ähnlichen Formkombinationen zu massieren und Verhärtungen zu lösen. Foam Rolling fördert den Blutfluss, entlastet die fasziale Gewebestruktur und ökonomisiert das Zusammenspiel zwischen Muskel und Faszien und kann drucksensitive Schmerzrezeptoren schonen. Studien zeigen ebenfalls, dass sich diese Maßnahme positiv auf die Beweglichkeit und den subjektiv empfundenen Muskelschmerz auswirken kann (Meyer et al., 2016).

#### 1.6.6. Formen der Wärme- bzw. Kälteapplikation

Die wohl bekannteste Form der Wärmeapplikation ist der Saunagang, wobei hier grob zwischen der finnischen Sauna (ca. 95-110°C bei 5-15% Luftfeuchtigkeit) und dem Dampfbad (49-60°C bei 100% Luftfeuchtigkeit) unterschieden wird. Wärmeapplikationen werden vor allem als Entspannungsmaßnahme für Körper, Psyche und Alltagsstressoren genutzt. Empfohlen werden ein bis drei Saunagänge zu je 8-15 min zwischen 80 und 110°C und anschließender Abkühlung durch Kaltwasser bzw. kalte Luft (Wiewelhove, 2020). Saunagänge bewirken eine Abnahme des Muskeltonus und eine Zunahme der Dehnfähigkeit von Bindegewebe, Bändern, Sehnen und Gelenken (Friedrich, 2014). Außerdem können sich regelmäßige Saunabesuche positiv auf die Thermoregulation, das Immunsystem (Zunahme Anzahl von Leukozyten im Blut), die Zunahme des Plasmavolumens und eine vermehrte Produktion von Erythrozyten auswirken (Wiewelhove, 2020; Meyer et al., 2016)). Zudem kann das allgemeine Wohlbefinden und die Schlafqualität nach dem Saunabesuch verbessert werden. Vereinzelt wird auch über positive Regenerationsprozesse wie eine Reduktion von Bewegungsbeschwerden und empfundenem Muskelschmerz berichtet. Jedoch ist hier die wissenschaftliche Evidenz noch nicht ausreichend gegeben (Wiewelhove, 2020). Andere Studien zeigten dagegen, dass sich Saunabesuche, durch die kardiovaskuläre Belastung, auch negativ auf den Regenerationsprozess auswirken und diesen verlangsamen können (Meyer et al., 2016).

Eine ähnliche Form der Wärme bzw. Kälteanwendung bildet die Kontrastwasser-Therapie (CWT) bei es nach einer Warmwasserphase zu einer annähernd zeitgleichen Kaltwasserphase oder umgekehrt kommt. Dadurch kommt es zu einer Gefäßerweiterung bzw. -engstellung. Dies kann eine Reduktion der Ödembildung bewirken und den Entzündungsprozess vermindern. Dadurch kann es zu einer besseren Gelenkbeweglichkeit und einem verminderten Schmerzempfinden kommen (Wiewelhove, 2020). Auch hier ist die wissenschaftliche Evidenz jedoch noch nicht ausreichend gegeben.

Die letzte und in dieser Arbeit vorrangige regenerative Interventionsmethode betrifft die Kälteapplikationen. Sie können vor, während und nach dem Training/Wettkampfeingesetzt werden. Die zwei bekanntesten Formen der Kälteapplikation sind die Kaltwasserimmersion (CWI) und die Ganzkörperkältetherapie (WBC) bzw. (PBC) (Wiewelhove, 2020). Darüber hinaus gibt es noch die Anwendung von Kühlungs Kleidung oder Kühlmittel (Gels, Granulat). Auch bei den Kälteinterventionen gibt es keine eindeutig belegten Wirkungseffekte, wobei aus verschiedenen Studien die Vermutung hervorgeht, dass durch die einwirkende kalte Temperatur Entzündungs- und Schmerzprozesse reduziert werden können und es auch zu kurzfristigen positiven Wirkungen auf die Muskelschmerzafferenzen der Gruppe III, IV, die Nervenleitgeschwindigkeit, die Muskelspindelaktivität und die spinalmotorisch Reflextätigkeit kommen kann (Wiewelhove, 2020). Ebenfalls konnten einige Studien keine regenerationsfördernden Effekte der Kälteanwendungen oder sogar negative Effekte, wie Reduktion der Glykogen Resyntheserate oder Leistungsminderung durch reduzierte Muskeltemperaturminderung dokumentieren (Wiewelhove, 2020). Außerdem zeigten einige Studien, dass eine regelmäßige bzw. langfristige Anwendung von Kälteapplikationen sich negativ auf Anpassungseffekte im Krafttraining auswirken kann (Wiewelhove, 2020).

Die Kälteapplikation CWI ist in der Wissenschaft derzeit am öftesten diskutiert (Meyer et al., 2016), deshalb soll Ziel dieser Arbeit sein, die wissenschaftliche Datenlage zu den Formen der Ganzkörperkältetherapie (WBC) bzw. Teilkörperkältetherapie (PBC) zu analysieren und diskutieren.

## 2. Kältetherapie

### 2.1. Historischer Einblick in die Kältetherapie

Die Anwendung von Kälteinterventionen, um körperliche Beschwerden zu lindern, wurde schon im Altertum genutzt und ist eine der ältesten Therapieformen (Papenfuß, 2005). Schon Hippokrates (460-377 v. Chr.) erwähnte in seinen medizinischen Schriften die positiven Auswirkungen der Kälte. Schon früh wurde bei operativen Eingriffen Kälte eingesetzt, um das Operationsgebiet schmerzfrei zu machen oder nach der Operation Ödeme und Entzündungen zu beseitigen. Außerdem kamen Kälteanwendungen schon in der Vergangenheit für Linderung der Schmerzen bei Arthritis Patienten zum Einsatz (Papenfuß, 2005). 1907 wurde von Platen schon beschrieben, dass sich der Kältereiz umso intensiver auf die Nervenendigungen auswirkt, je größer die Wassermenge und die beteiligte Körperfläche ist (Papenfuß, 2005).

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Formen der Kälteapplikation entwickelt. Neben den sehr alten Interventionen wie den Kneippschen kalten Güssen, (Fuß-) Bäder oder kalten Moorpackungen, kommen heutzutage Eisgranulate, Eis-Wasser und industriell gefertigte Kältespender zum Einsatz. 1980 entwickelte der japanische Arzt Toshima Yamauchi die ersten Kältekammern für die Ganzkörperkältetherapie (WBC), vor allem in Hinblick auf die Therapie der rheumatoiden Arthritis. In den 90er Jahren entwickelte Professor Baranov die sogenannten Kryo- bzw. Eissaunen (PBC). WBC und PBC ermöglichen Temperaturen bis circa  $-160^{\circ}\text{C}$  (Banfi et al., 2010). Inzwischen ist die Ganzkörpertherapie in Kältekammern (WBC) bzw. Kältesaunen (PBC) eine weit verbreitete Interventionsmethode, die nicht mehr nur Anwendung bei Erkrankung findet, sondern auch im Beauty-, Wellness- und im Sportbereich. Dort wird sie zur Verbesserung der Leistungs- und Regenerationsfähigkeit eingesetzt.

Die WBC gehört zu den physikalischen Interventionen und ist eine Kurzzeittherapie, deren Anwendungszeit normalerweise zwischen einer und drei Minuten liegt. Diese Interventionsmethode erfasst meist den ganzen körperlichen Organismus und beruht auf dem Reiz Reaktions-Adaptions-Prinzip<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Das Reiz-Reaktions-Adaptions-Prinzip ist ein behavioristisches Modell aus der Psychologie, das auf den russischen Psychologen Pawlow zurückzuführen ist. Dieses Modell geht davon aus, dass wenn ein spezifischer Reiz auf den Organismus einwirkt, es zu einer definierten Reizantwort kommt.

In Abbildung 4 sind die verschiedenen Vorgänge, die durch diese Interventionsform ausgelöst werden können, dargestellt.

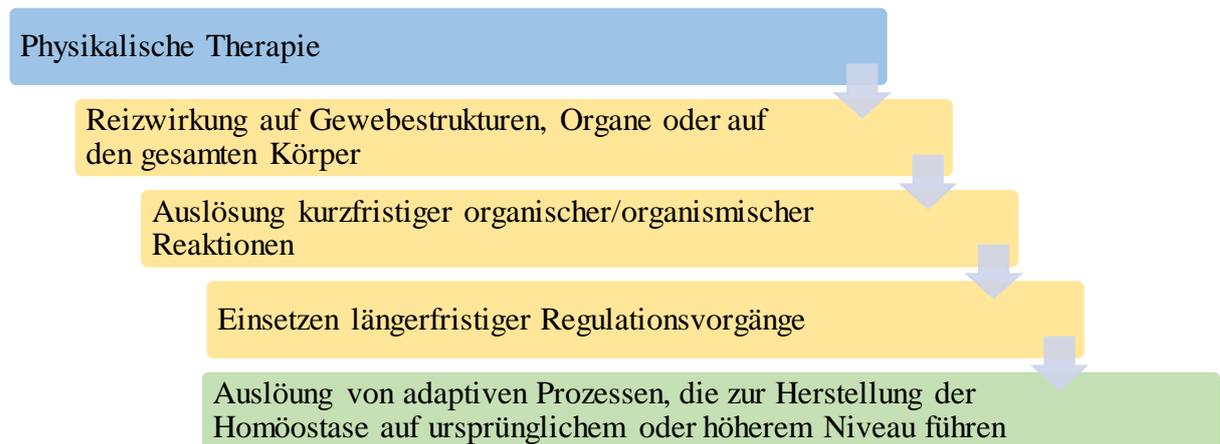


Abbildung 4: Allgemeine Wirkungsvorgänge der Adaptionstherapie ((Papenfuß, 2005: 12 )

Die eben beschriebenen Vorgänge aus Abbildung 4 finden sich auch in der WBC wieder, denn durch den Reiz auf der Hautoberfläche, den die Kälte verursacht, kommt es zu verschiedenen Reaktionen im Körper, die in der nachfolgenden Abbildung (Abb. 5) dargestellt sind (Papenfuß, 2005: 13).

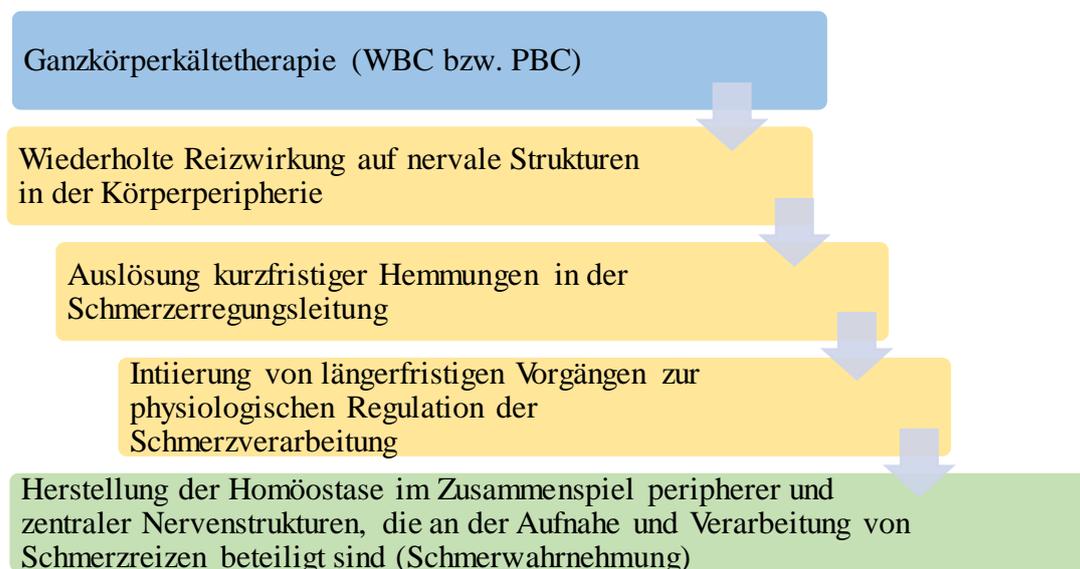


Abbildung 5: Vorgänge bei der Ganzkörperkältetherapie (Papenfuß, 2005: 13).

## 2.2. Anwendung der Ganzkörpertherapie

Bei der Ganzkörper-Kryotherapie werden Personen in einer speziellen Kabine bzw. Kammer zwei bis vier Minuten lang extremer Kälte und trockener Luft ausgesetzt. Man unterscheidet zwischen Kältekammern und Kältekabinen (De Nardi et al., 2021). Kältekabinen bzw. Kältesaunen, auch PBC (partial-body cryostimulation) genannt, sind Kabinen in denen sich die Patient/innen senkrecht hineinstellen und Temperaturen von bis zu  $-160^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt werden. Die Kopf- und Halsregionen sind von der Kälteapplikation ausgenommen (Bouzigon et al., 2021).

Bei den Kältekammern hingegen, auch WBC (whole-body cryotherapy) handelt es sich um ein bis drei Räume mit verschiedenen Kältetemperaturen, in denen Patient/innen einen ein bis vier Minuten Kältereiz ausgesetzt werden (Bouzigon et al., 2021). Während die Kryosauna (PBC) nur für einzelne Personen verwendet werden kann, können bei den WBC-Kammern meist auch mehrere Personen gleichzeitig die Anwendung durchführen.

Die beiden wichtigsten verwendeten Kälteerzeugungsmethoden sind zum einen die mechanische Kühlung auf der Grundlage von Dampfkompressionszyklen mit Kältemitteln und zum anderen die Kühlung mit Hilfe von kryogenen Flüssigkeiten, hauptsächlich Flüssigstickstoff (LN<sub>2</sub>). Der flüssige Stickstoff siedet unter Normaldruck bei 77K ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) (Bouzigon et al., 2021).

In Abbildung 6 sind die verschiedenen Arten der Kälteapplikationen dargestellt. Bei der ersten Abbildung handelt es sich um eine Kryosauna mit Flüssigstickstoff der als Luft-Gas-Gemisch in die Kabine eingelassen wird. Die Schulter- und Kopfregion bei dieser Interventionsform ausgenommen. Bei der zweiten Abbildung handelt es sich um eine Einzelzimmer Kältekammer und bei der dritten handelt es sich um eine Kältekammer, die aus drei Räumen besteht. Diese besitzt einen Adaptionsraum bei circa  $-10^{\circ}\text{C}$ , der für 30 Sekunden durchgegangen wird. Weitere 30 Sekunden verbringt man im zweiten Raum bei  $-60^{\circ}\text{C}$  und bevor man schlussendlich die Tiefkältekammer mit Temperaturen zwischen  $-110$  und  $-130^{\circ}\text{C}$  erreicht. Hier verbleibt man noch weitere ein bis drei Minuten (Bouzigon et al., 2021).



Abbildung 6: Verschiedene Formen der Kältekabinen bzw. -kammern (Herz, 2016, [fitnessmarkt.de](http://fitnessmarkt.de), [fini-resort-badenweiler.de](http://fini-resort-badenweiler.de))

Bei den extrem tiefen Temperaturen in den Kammern ist kaum Feuchtigkeit in der Luft enthalten (Luftfeuchtigkeit bei unter 1%), wodurch die Temperatur als deutlich weniger kalt empfunden wird als bei höherer Luftfeuchte. Die empfundene Temperatur liegt bei circa -5°C und ist somit im Normalfall gut auszuhalten (Papenfuß, 2005).

Patient/innen müssen sich während der Intervention durchgehend leicht bewegen in dem sie beispielsweise langsam auf der Stelle gehen oder leichte Kniebeugen oder Armbewegungen machen. Die Therapie kann mehrmals täglich, über Folgetage oder wöchentlich erfolgen. Bisher konnten keine genauen Empfehlungen dafür ausgesprochen werden. Bei chronischen Leiden werden i. d. R. meist mehrere Behandlungen (dreimal täglich über einen Zeitraum von 2-3 Wochen) empfohlen (Papenfuß, 2005). Im sportlichen Bereich erfolgt die Kälteintervention typischerweise innerhalb von 24 Stunden nach dem Training bzw. Wettkampf und wird oft am selben Tag oder über mehrere Tage wiederholt. Benutzer/innen tragen minimale Kleidung (Shorts und Sport BH), Handschuhe, trockene Schuhe bzw. Socken, Stirnbänder, Mützen, Nasen- und Mundmasken, um das Risiko kältebedingter Verletzungen zu verringern (Costello et al., 2016).

Neben den positiven Auswirkungen gibt es jedoch auch Kontraindikationen und Nebenwirkungen der WBC. Die häufigste Nebenwirkung betrifft lokale Erfrierungen im Bereich der Unterarm. Bei zu schnellen Bewegungen in der Kammer, bei Berührungen der Kammer selbst, bei gestörter Hautdurchblutung, vorhergehenden Alkoholkonsum oder bei feuchter Haut (z. B. bei thermischen, psychischen Schwitzen) können ebenfalls Verletzungen der Haut entstehen. Die Erfrierungen klingen meist nach einigen Tagen wieder ab. Nach der Kälteapplikation kann es auch zu Heißhungerattacken und extremer Müdigkeit, ausgelöst durch die hohe Energieleistung, kommen (Herz, 2016). Außerdem kommt es vor, dass die Intervention Kopfschmerzen verursacht. Kopfschmerzen, die vom Nacken in den

Hinterkopf ziehen, können meist dadurch beseitigt werden können, dass man die betroffene Region vor Kälte schützt. Bei Kopfschmerzen hingegen, die heftige Spannung im Kopf auslösen und bei Anwendung der Kälteapplikation wiederholt auftreten, sollte die Therapie abgebrochen werden. Einige Patient/innen erleiden Atemnot und Schwindelerscheinungen bei der Durchführung der Intervention, die jedoch oft durch richtige Atemtechnik vermindert oder beseitigt werden können (Papenfuß, 2005).

Die WBC sollte bei bestimmten Erkrankungen keinesfalls Anwendung finden. Dazu zählen beispielsweise ein Herzinfarkt, der weniger als ein halbes Jahr zurückliegt, akute Erkrankungen der Atemwege, akute Nieren- und Harnwegserkrankungen, Tumorerkrankungen oder bakterielle und virale Hautinfektionen (Papenfuß, 2005). Ansonsten ist die WBC-Intervention bei adäquater Berücksichtigung der Indikationen bzw. Gegenindikationen eine gut verträgliche Therapiemöglichkeit (Papenfuß, 2005).

### 2.3. Wirkungsmechanismus der Ganzkörperkältetherapie

Die Auswirkungen der WBC sind immer noch Gegenstand der Forschung. Jedoch konnten verschiedene Studien schon diverse biologische Reaktionen von Kälteanwendungen auf den Körper zeigen. Wie der Organismus auf thermische Reize reagiert, hängt von mehreren Faktoren, wie Temperatur, Dauer, Expositionsbereich und individuellen, körperlichen Faktoren ab (Papenfuß, 2005).

Es konnten Zusammenhänge zwischen thermischen Reizen und Erregungszuständen des peripheren und zentralen Nervensystems erkannt werden. Die Umgebungstemperatur beeinflusst stark die Wärmeproduktion bzw. -verteilung des Körpers. So können extrem warme Temperaturen dazu führen, dass die Körperschalentemperatur auf 37 Grad ansteigt, da der Organismus um nicht zu Überhitzen, Wärme an die Körperperipherie abgibt. Bei extremen Kälteeinflüssen kann die Hautoberflächentemperatur Werte unter +5 Grad Celsius erreichen, da der Wärmetransport für die Aufrechterhaltung der lebenswichtigen stabilen Körperkerntemperatur (+37°C) gedrosselt wird (Papenfuß, 2005). Die Thermoregulation der Haut wird über den Hypothalamus gesteuert und durch die Hautdurchblutung reguliert. Die schnelle Temperaturabsenkung der Hautoberfläche hingegen ist vor allem durch den konvektionellen Wärmetransport gegeben, denn durch die extremen Kältereize kommt es zu einer Verengung der Kapillaren und zur Reduktion des Wärmetransports in die Haut und folglich zur Senkung der Körperschalentemperatur (Papenfuß, 2005). Die Abbildung 7 zeigt die Körpertemperatur vor und nach einer dreiminütigen WBC-Intervention von -130°C. Bei

genauer Betrachtung kann man erkennen, dass während die Körperschalentemperatur erheblich nach der Kälteapplikation absinkt, die Körperkerntemperatur nicht unter die 22,5°C fällt (Herz, 2016).

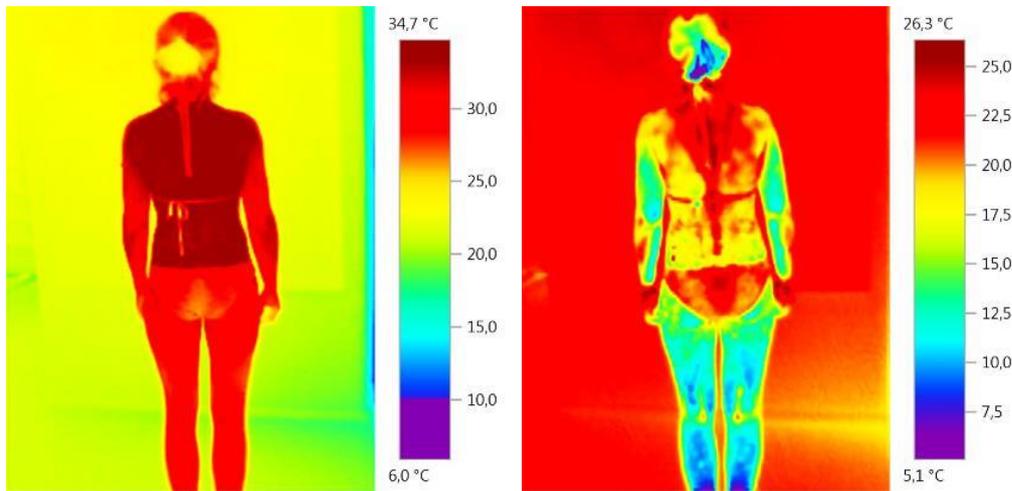


Abbildung 7: Körpertemperatur vor und nach dreiminütiger WBC-Intervention (Herz, 2016)

Durch die Ganzkörperkältetherapie wird der Organismus stark beansprucht und es kommt zu einer sogenannten Schockreaktion. Dabei werden vom Körper Schutzmaßnahmen getroffen, um den Kälteschmerz standzuhalten und um das Absenken der Körperkerntemperatur zu verhindern. Dazu werden zusätzlich Stresshormone (Kälteschutzhormone), wie Adrenalin, Noradrenalin, TRH<sup>10</sup>, schmerzlindernde Endorphine und Dopamin ausgeschüttet. Der Sympathikus wird aktiviert, was zur Herzfrequenz- und Blutdrucksteigerung, Blutgefäßverengung und Bronchodilatation führt (Papenfuß, 2005; Herz, 2016).

Im Anschluss werden die verschiedenen Wirkungsvorgänge genauer beschrieben.

### 2.3.1. Nerval-reflektorische Vorgänge

Durch den extremen Kältereiz und die Senkung der Hauttemperatur werden nerval-reflektorische Vorgänge ausgelöst, denn die Haut enthält Thermorezeptoren bzw. -sensoren, die auf Kälte- bzw. Wärmereize reagieren. Kältesensoren sind freie Nervenendigungen der A $\delta$ -Fasern, die nervale Erregungen durch den Kältereiz zuerst zum Rückenmark und von dort in die verschiedenen Funktionskreise (motorisch, algetische, vegetative, propriozeptive)

<sup>10</sup> Thyrotropin Releasing Hormone (TRH): Wichtige Rolle im Limbischen System (Thermoregulation, Schlafregulation, Schmerzverarbeitung, sensorische Wahrnehmung) und regelt Grundumsatz im Körper (Szabo, 1986)

leiten und dort zu (kurzfristigen) Modifizierungen des Organismus führen können. So können sie sich auf die Schmerzwahrnehmungen, Entzündungen, den Spannungszustand, die Blutversorgung der Muskulatur, das Wohlbefinden, die Herzkreislauffunktion und die Leistungsfähigkeit auswirken (Papenfuß, 2005).

Bei der Kälteeinwirkung kommt es zu einer neuronalen Erregung durch die Aktivierung der Kältesensoren, die auf spinaler Ebene (Rückenmark) in das autonome Nervensystem weitergeleitet wird. Diese erreicht, wie andere sensorische Informationen auch, die *Formatio reticularis*<sup>11</sup> (Hirnnetz), die für die Verarbeitung sämtlicher motorischer und sensibler Kerngebiete des Gehirns verantwortlich ist (Aumüller et al., 2018). Sie ist mit dem Limbischen System (Antrieb, Lernen, Gedächtnis, Emotionen), dem Hypothalamus (Regulationszentrum autonomes Nervensystem) und der Großhirnrinde verknüpft und kann somit verschiedenste Regionen des Organismus beeinflussen.

Thermische Reize können ebenfalls die psychophysische Aktivitätslage beeinflussen. Beispielsweise kann bei sympathikotoner Ausgangslage, die Kälteeinwirkung zu einem beruhigenden Zustand führen (Schlafverhalten kann beeinflusst werden) und bei parasympathikotoner Ausgangslage zur Anregung physiophysischer Funktionen, wie Gefühle von Frische und Wachheit (Papenfuß, 2005).

### 2.3.2. Schmerzhemmung

Wie Schmerz entsteht, wahrgenommen oder verarbeitet wird, ist einerseits vom peripheren Nervensystem, andererseits vom zentralen Nervensystem (Rückenmark – Gehirn) abhängig. Bei der Schmerzwahrnehmung kommunizieren mehrere Hirnareale miteinander, unter anderem auch das Limbische System, was für Gefühle und Emotionen verantwortlich ist (Papenfuß, 2005).

Verantwortlich für das Schmerzempfinden sind die Nozizeptoren (Schmerzrezeptoren), die sich in der Haut, den Gelenken, der Muskulatur und den inneren Organen befinden. Sie können auf mechanische, thermische und chemische Reize reagieren. Hierbei handelt es sich um freie Nervenendigungen der C-Nervenfasern<sup>12</sup> und der A $\delta$ -Fasern, die auch als Erregungsleiter bei thermischen Reizen vorzufinden sind. Diese leiten ein Signal an das

---

<sup>11</sup>Formatio reticularis: Ist ein Nervengeflecht im menschlichen Gehirn, das den gesamten Hirnstamm durchzieht und steuert, Wach und Schlafzustände reguliert, Kreislauf und Atemzentrum beeinflusst (Aumüller et al., 2018).

<sup>12</sup> Dienen der afferenten Erregungsleitung, vor allem bei Thermo- bzw. Nozizeption

Rückenmark und setzen an ihren Endigungen den Neurotransmitter Glutamat frei. Von dort aus wird das Signal über die Rückenmarksbahnen über den Thalamus in die Großhirnrinde (Kortex) weitergeleitet, wo der Schmerz bewertet wird und bei Bedarf Gegensignale ausgelöst werden. So kommt es zur Freisetzung von Endorphinen und Serotonin und zur Produktion der GABA (Gamma– Aminobuttersäure), deren Aufgabe es ist den Schmerzreiz zu hemmen (Papenfuß, 2005).

Durch extreme Kälte kommt es zu einer hohen Aktivierung der A $\delta$ -Nervenfasern, welche die Weiterleitung von Schmerzsignalen des C-Fasersystem hemmen können, denn die thermische Erregungsleitung ist weitaus schneller als die Schmerzerregungsleitung, die dadurch unterdrückt wird (Papenfuß, 2005). Damit die Kältesensoren erregt werden, muss die Hauttemperatur unter 13°C liegen, um bei einer Therapie einen signifikanten, schmerzhemmenden Effekt zu erzielen (Hohenauer et al., 2020).

### 2.3.3. Entzündungshemmung

Zur Entzündung kommt es, wenn der Organismus auf eine Zell- bzw. Gewebsschädigung (Infektionen, Verletzungen, chirurgische Eingriffe) reagiert und durch eine Reihe von Gegenmaßnahmen einen Heilungsprozess einzuleiten versucht (Papenfuß, 2005). Es wird zwischen akute und chronische Entzündung unterschieden. Erstere sind protektive, natürliche und sinnvolle Mechanismen die Gewebsschäden eingrenzen und beheben können. Sie sind positive Reaktionen des Organismus, obwohl Rötung, Schmerz, Hitze, Ödem oder temporäre Funkminderungen auftreten können (Papenfuß, 2005). Chronische Entzündungen hingegen sind Erkrankungen des Organismus, bei dem das Immunsystem nicht mehr adäquat funktioniert. Sie können sich aus akuten Entzündungen entwickeln, wenn Entzündungsreaktionen nicht genügend wirksam sind, die Behandlung fehlerhaft oder zu spät eingesetzt wird, oder auch durch andere umweltbezogene Faktoren wie Luftverschmutzung, toxische Substanzen in Lebensmitteln, usw. (Papenfuß, 2005). Chronische Entzündungen können Wochen bis Jahre andauern und den Organismus erheblich schädigen, sowie die Lebensqualität einschränken.

Für die Entzündungsreaktion sind sogenannte Entzündungsmediatoren (Botenstoffe) verantwortlich, die zum einen im betroffenen Gewebe selbst vorzufinden sind (Gewebsmastzellen, basophile Granulozyten) und zum anderen durch sensibilisierte Nozizeptoren ausgeschüttet werden. Zu den wichtigen Botenstoffen zählen (Papenfuß, 2005):

- Histamin: Es bewirkt eine Vasodilatation (Ausdehnung/Erweiterung der Blutgefäße) und Blutgefäßpermeabilität (Durchlässigkeit). Dadurch wird der arterielle Blutdruck gesenkt und es kommt zu einer erhöhten Adrenalinausschüttung. Histamin kann zur Bildung von Ödemen in der Haut und Schleimhäuten beitragen.
- Bradykinin: Es bewirkt ebenfalls eine erhöhte Gefäßpermeabilität und ist an der Schmerzauslösung beteiligt.
- Prostaglandine: Sie bewirken ebenfalls eine Vasodilatation und eine erhöhte Permeabilität der Blutgefäße und sensibilisiert Nozizeptoren für die Schmerzvermittlung.

Für den Entzündungsprozess sind sogenannte Regulations- und Schutzsysteme verantwortlich, die vom zentralen Nervensystem ausgelöst werden. Vor allem Strukturen im Hypothalamus, im Stammhirn und im Limbischen System sind für die Reaktionen verantwortlich. So werden Regelkreise aus dem lokalen Entzündungsgebiet zuerst an das Gehirn und von dort über das autonome Nervensystem, über Hormone (endokrines System) und das Immunsystem wirksam. Sie haben das Ziel zur Heilung des verletzten Gewebes beizutragen (Papenuß, 2005).

Mehrere Studien konnten Wirkungsmechanismen in der WBC beobachten, die zu Entzündungshemmung beitragen können. So kann es bei der WBC-Intervention durch Interaktion zwischen Thermo- und Nozizeptoren sowie lokalentzündlichen und zentralen Vorgängen zu einer gesteuerten Modifizierung von systematischen Schutzfunktionen kommen (Papenuß, 2005). Dadurch könnten Ödeme rückgebildet, Schmerzen gelindert, Autoaggression gemindert werden und es kann zu einer generellen Verbesserung der Funktion der entzündeten Bereiche kommen (Papenuß, 2005). Zusätzlich kommt es zu einer Vasokonstriktion (Blutgefäßverengung), die zu einer Reduktion des Stoffwechsels im Entzündungsgebiet führen und die Aktivität von lokalen Entzündungsmediatoren und Neurotransmittern mindern kann (Papenuß, 2005). Zudem wird das nozizeptive System desensibilisiert, was dazu führen kann, dass Schmerzen gelindert und die Freisetzung von Entzündungsmediatoren reduziert werden können. Ebenfalls wird der Muskeltonus gesenkt, was schmerz- und entzündungsbedingten muskulären Funktionsstörungen entgegenwirken kann. Am effizientesten scheint die Reduktion von Gewebsschädigung dann zu sein, wenn die Gewebstemperatur möglichst schnell, umfangreich und stark reduziert wird und möglichst gleich nach der Gewebsbeanspruchung erfolgt (Hohenauer et al., 2020).

#### 2.3.4. Skelettmuskulatur und Kälteeinwirkung

Die Skelettmuskulatur bildet die Grundlage damit Körperbewegungen wie sitzen, stehen, laufen, usw. stattfinden können. Damit eine Erregung bzw. Spannung im Muskel stattfinden kann, werden Muskeln durch Motoneuronen innerviert. Diese werden auch somatische Motoneuronen genannt und in  $\alpha$ -Motoneurone und  $\gamma$ -Motoneurone unterteilt (Papenfuß, 2005). Alpha Motoneuronen versorgen die extrafusalen Fasern, außerhalb der Muskelspindeln und sind für die Muskelkontraktion zuständig. Gamma Motoneuronen sind hingegen für die intrafusalen, also innerhalb der Muskelspindeln und für die Regulation der Längenrezeptoren zuständig. Beide Motoneuronsysteme sind eng miteinander verknüpft (Papenfuß, 2005).

Der Spannungszustand des Muskels kann von Wärme, Kälte oder einen Schmerzreiz beeinflusst werden. Je nach Einwirkung kann die Spannung im Muskel gefördert oder gehemmt werden (Papenfuß, 2005). Die bekannteste Reaktion von Kälte auf die Muskulatur ist das Muskelzittern, das als Schutzmechanismus eintritt, wenn das Regulationszentrum im Hypothalamus Unterkühlungsgefahr erkennt. Dieser Prozess regt den Muskelstoffwechsel an (Papenfuß, 2005).

Im Mittelpunkt der Kältetherapie stehen aber folgende zwei Hauptziele in Hinblick auf die Muskulatur. Zum einen die funktionelle Versorgung (Innervation) der Muskeln zu modifizieren und zum anderen die Muskeldurchblutung zu beeinflussen. Bei lokalen Kälteapplikationen, wie beispielsweise Eispackungen können je nach Anwendungszeit auch tiefere Gewebsschichten und teilweise die Muskeln selbst erreicht werden (Papenfuß, 2005). Bei der WBC, wo die Anwendungsdauer im maximal dreiminütigen Bereich liegt, wird vor allem die Körperoberfläche beeinflusst. Somit werden fast ausschließlich nerval-reflektorische Vorgänge ausgelöst.  $\alpha$ -Motoneurone und  $\gamma$ -Motoneurone reagieren unterschiedlich auf Kältereize, so werden erstere aktiviert und zweitgenannte gehemmt, was zu einer Senkung des Muskeltonus führt (Papenfuß, 2005).

Für die Leistungsfähigkeit der Muskeln ist die Blutversorgung von entscheidender Bedeutung, denn über das Blut werden Sauerstoff, Nährstoffe und verschiedene Endprodukte des Muskelstoffwechsels transportiert bzw. abtransportiert. Wieviel Blutmenge in die jeweiligen Muskeln fließt, hängt von der Intensität der Belastung ab (Papenfuß, 2005). Je mehr gefordert wird, desto höher werden die Herzleistung und die Durchblutung des jeweiligen beanspruchten Bereiches ausfallen, während nicht aktive

Muskeln weniger mit Blut versorgt werden. Gesteuert wird dieser Verteilungsmechanismus einerseits vom autonomen Nervensystem (Hypothalamus) und andererseits von chemischen Substanzen im Muskel selbst (Papenfuß, 2005). Durch den Kältereiz werden die Blutgefäße verengt, was dazu helfen kann die Bildung von Ödemen und Schwellungen zu vermindern (Papenfuß, 2005).

#### 2.4. Ganzkörperkälteanwendung im Leistungssport

Die verschiedenen positiven Wirkungen, wie beispielsweise auf Entzündungen, Gewebsschädigungen, die Ökonomisierung des Herzkreislaufes oder die Regulation des zentralen Aktivitätsniveaus waren sicherlich mit ein Grund, warum die Ganzkörperkältetherapie von der Sportmedizin aufgegriffen wurde und im sportlichen Bereich Anwendung fand. Mittlerweile wird sie für verschiedene Bereiche des Trainings eingesetzt, wie zum Beispiel bei der Rehabilitation nach Verletzungen, für schnellere Regeneration nach dem Training und Wettkämpfen oder zur Steigerung der Leistungsfähigkeit (Papenfuß, 2005).

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, treten während bzw. nach körperlicher Belastung Ermüdungszustände auf, die Veränderungen im Stoffwechsel der Muskelzellen bewirken, wie beispielsweise eine Abnahme der Energiereserven oder Leistungsabfall durch Laktatanhäufung. Neben der Limitierung durch den Stoffwechsel, treten auch neuromuskuläre Mechanismen auf. So kommt es bei starker Kontraktion der Muskulatur zu einer verminderten Erregbarkeit der  $\alpha$ -Motoneuronen. Dadurch kommt es zu Störungen im Zusammenspiel zwischen Muskelzelle und der Innervation und zu einer darauffolgenden reflektorischen Hemmung. Bei einer Störung des Organismus versucht der Körper das dynamische Gleichgewicht wiederherzustellen (Papenfuß, 2005).

Die WBC kann dazu führen, dass der Herzkreislauf verbessert wird und dadurch die muskuläre Ermüdungsresistenz und die Regenerationsfähigkeit gesteigert wird. Durch den Anstieg der Muskeldurchblutung, der Ökonomisierung des Muskelstoffwechsels und das Aktivieren der motorischen Einheiten kann die muskuläre Leistungsfähigkeit gesteigert werden. Durch die Kälteanwendungen kommt es zu schnelleren Anpassungen der Körpertemperaturregulation. So verbraucht der Organismus durch die Kälteapplikation weniger Energie für eine Abkühlung des Körpers als bei Abkühlung bei Normaltemperatur. Dadurch kann der Organismus mehr Energie für die sportliche Leistung aufwenden (Papenfuß, 2005). Durch das Regulieren des zentralen Aktivitätsniveaus, kommt es zu einer

psychophysischen Stabilität, die sich positiv auf die Stressverarbeitung und den Schlaf auswirken und somit auch die Regeneration beeinflusst kann (Papenfuß, 2005).

Außerdem wurde festgestellt, dass Leistungssportler/innen, vor allem im Ausdauerbereich, oft infektanfällig sind. Eine Ursache könnte sein, dass es durch die hohe Muskelbeanspruchung zu einer Erhöhung der Stoffwechselprodukte kommt, die vom Immunsystem als Antigene angesehen werden können. Dies kann als Störung des Immunsystem interpretiert und dadurch können falsche Abwehrmechanismen auslöst werden (Papenfuß, 2005). Darüber hinaus werden durch extreme sportliche Beanspruchungen vermehrt Stresshormone ausgeschüttet, die die Immunabwehr hemmen und die Regenerationsphase verlängern könnten. Genaue wissenschaftliche Erklärungen sind jedoch noch notwendig (Papenfuß, 2005).

Die wenigen Forschungsergebnisse deuten bei richtiger Anwendung darauf hin, dass leistungssteigernde Komponenten der WBC in verschiedenen Sportarten denkbar sind. Sportarten, wie beispielweise in der Leichtathletik, in den Laufdisziplinen wie Sprint bis Langstreckenlauf, bei Wintersportdisziplinen, Ausdauersportarten wie Radfahren und Schwimmen oder Mannschaftssportarten könnten von einer WBC-Intervention profitieren. Es wurden jedoch ebenfalls negative Auswirkungen in Bereich der Schnelligkeit, der Kraftleistungen oder der Explosivität nach einer WBC-Intervention beschrieben (Hohenauer et al., 2020).

Die WBC sollte im Trainingsprozess integrativ und längerfristig angewendet werden. So kann sie vor dem Training zu einer Verbesserung der Muskeldurchblutung und Ökonomisierungseffekte beitragen und nach dem Training regenerative Prozesse fördern (Hohenauer et al., 2020).

Wie jedoch die effektivste Anwendung erfolgt, scheint in der Literatur wissenschaftlich noch unzureichend dokumentiert zu sein. Deshalb ist das Ziel dieser Arbeit aktuell vorhandene Literatur zum Thema zusammenzufassen und die Ergebnisse zu analysieren und Anwendungsempfehlungen zu ergründen. Folgende Grafik (Abb. 8) soll vorerst den Gedankengang vor der systematischen Literaturanalyse beschreiben.

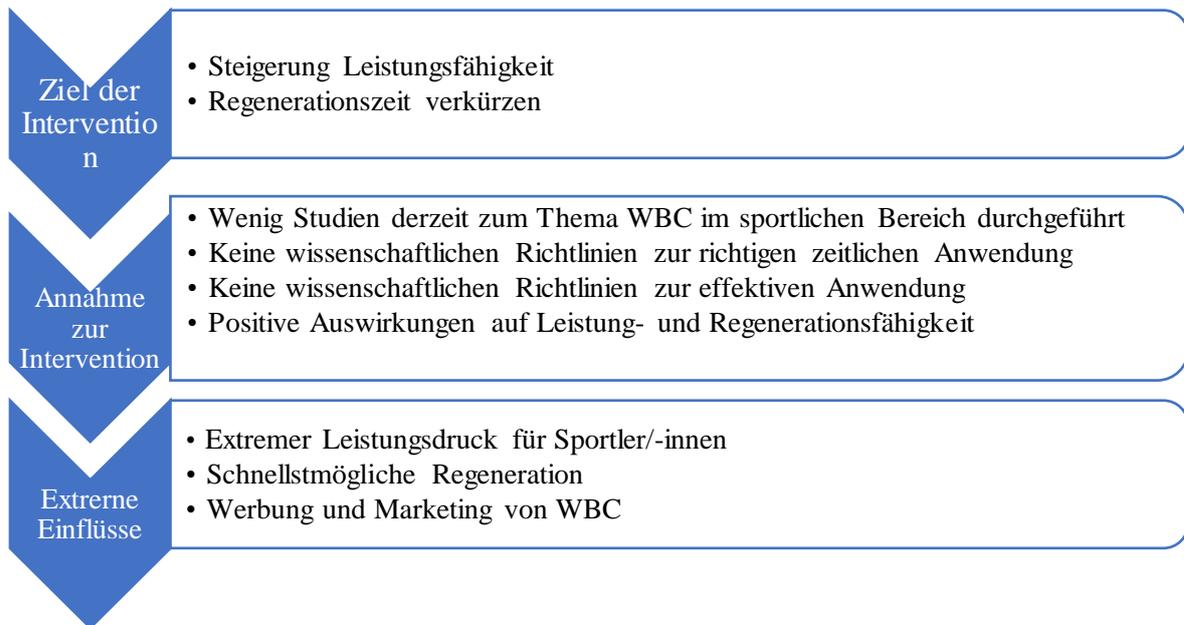


Abbildung 8: Gedankengang zur Auswahl des Themas

Folgend wurden in der nachstehenden Abbildung 9 die Gedanken und Annahmen zur folgenden Arbeit zusammengefasst.

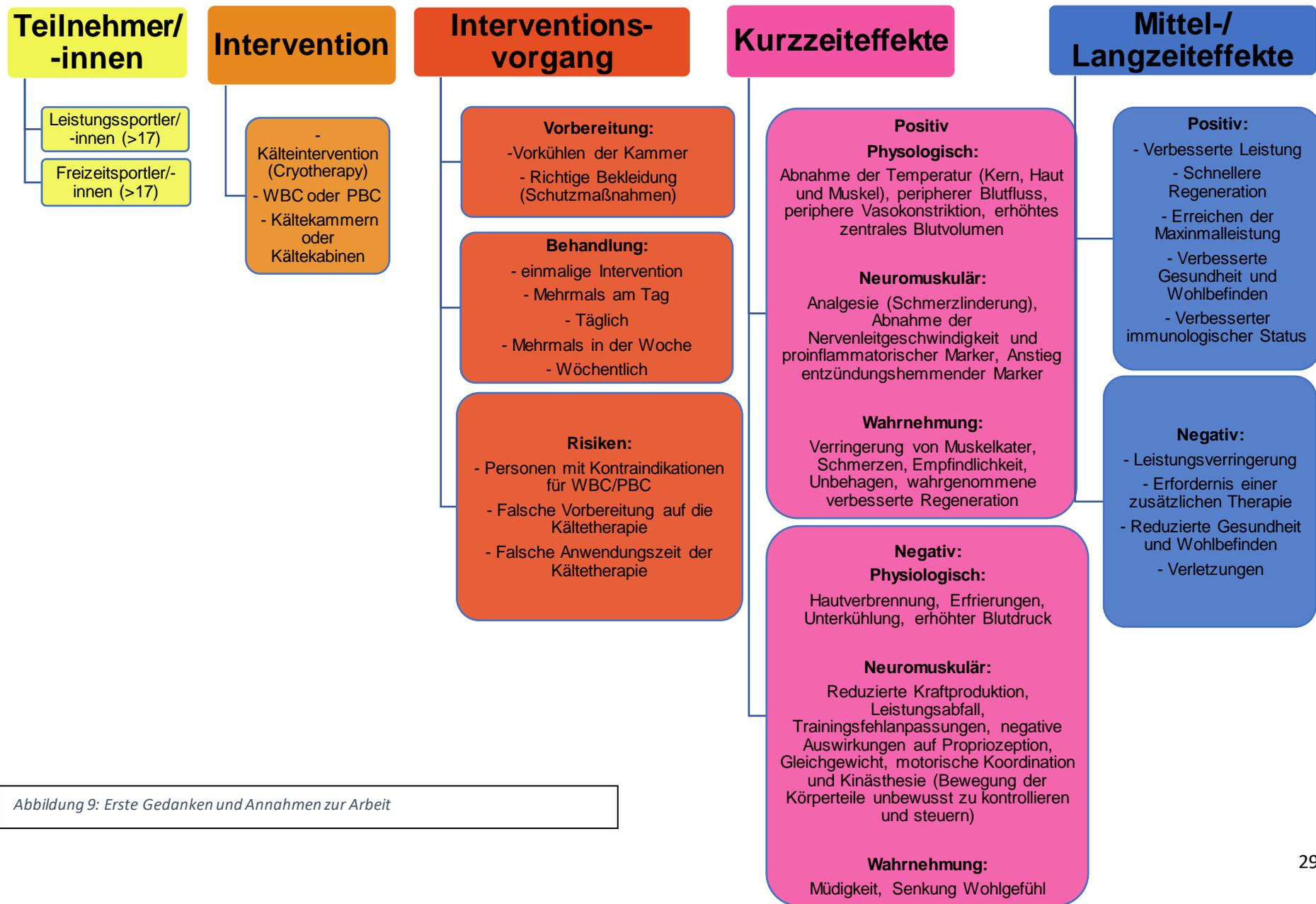


Abbildung 9: Erste Gedanken und Annahmen zur Arbeit

## 3 Methodik

### 3.1. Studiendesign

Um die wissenschaftliche Fragestellung zu beantworten, wurde die Form einer systematischen Literaturrecherche (Review) ausgewählt. Mit deren Hilfe soll versucht werden eine vollständige, evidenz-basierte Suche einer großen Anzahl aktueller Studienergebnisse zu ermöglichen, um diese im Folgenden zu analysieren, zusammenzufassen und schlussfolgernd die Forschungsfrage damit beantworten zu können. Die Fragestellung wurde anhand des PICO-Schemas erstellt. Das PICO-Rahmenwerk konzentriert sich auf Population, Intervention, Vergleich und Ergebnisse und ist ein häufig verwendetes Instrument für die systematische Überprüfung, um eine vollständige Fragestellung zu gewährleisten (Page et al., 2021).

Tabelle 1: Fragestellung nach dem PICO-Schema

Komponente	Suchbegriffe extrahiert (deutsch)	Suchbegriffe extrahiert (englisch)
<b>P</b> (Population)	Sportler/innen, Athlet/innen (Leistung, Freizeit)	Athletes (men and women), physical active men, physical active women
<b>I</b> (Intervention)	Ganzkörperkältetherapie nach körperlicher Beanspruchung	WBC (whole body cryotherapy) after exercise/training
<b>C</b> (Comparison)	Alternative Formen der Regeneration (v. a. passiv)	Alternative forms of regeneration/recovery (passive forms)
<b>O</b> (Outcome)	Auswirkungen auf die Erholungs- und Leistungsfähigkeit	Effects on recovery and performance

Mit Hilfe des PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis) Leitfadens, der aus einer Checkliste mit 27 Items besteht, wurden die Studien beurteilt und für die richtige Struktur und Vollständigkeit der Arbeit gesorgt (Page et al., 2021).

Im ersten Schritt der Literaturrecherche wurde in der Onlinedatenbank MEDLINE (PubMed) und mit Hilfe zusätzlich computergestützten Literatursuche relevante Studien auf englischer und deutscher Sprache mit Hilfe folgender zuvor ausgewählter Suchbegriffe bzw. Operatoren ausgewählt. Diese wurden in vier Unterkategorien eingeteilt und folgendermaßen kombiniert:

### 3.2. Darstellung der Suchbegriffe

Tabelle 2: Darstellung der Suchbegriffe

Begriffe	Synonyme auf Deutsch	Synonyme auf Englisch
Sportler*innen	Spieler OR Wettkämpfer OR Athlet OR körperlich aktive Menschen	Athlete OR competitor OR player OR sportsmen OR sportswomen OR physically active persons OR physically active men OR physically active women
Kältetherapie	Kryotherapie OR Ganzkörperkältetherapie OR Kältekammern OR Kältekabinen OR Kältesauna	cryotherapy OR WBC (whole body cryotherapy) OR PBC (partial body cryotherapy) OR cryochamber OR cryocabin
Körperliche Beanspruchung	Training OR Intervention OR Sport OR Wettkampf OR Spiel	Training OR workout OR physical activity OR practise OR competition OR game OR trainingscamp OR sportintervention
Alternative Formen der Regeneration	Regenerationsformen	forms of regeneration OR recovery

### 3.3. Studienauswahl – Suchstrategie

Um die Studien einzugrenzen, wurden im Voraus einige Kriterien beschrieben. Es wurden nur die Studien der letzten zehn Jahre berücksichtigt (2012-2022), die entweder in englischer oder deutscher Sprache verfasst und an körperlich aktiven Menschen getestet wurden. Es wurden nur Interventionsstudien im randomisierten kontrollierten Design (Randomized Controlled Trial (RCT)) ausgewählt. Im Folgenden werden die Ein- und Ausschlusskriterien in der Tabelle 3 dargestellt und genauer beschrieben:

Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien

Kriterium	Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Publikationssprache	Deutsch, Englisch	Andere Sprachen
Publikationszeitraum	2012-2022	Älter als 2012
Population	<ul style="list-style-type: none"> <li>Human/Mensch</li> <li>weiblich und männlich</li> <li>Menschen 17 +</li> <li>Menschen gesund und nicht verletzt</li> <li>Sporttreibend (Sportarten aller Art)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Andere Lebewesen</li> <li>Menschen unter 17 Jahre</li> <li>Menschen mit Krankheit (z. B. Rheuma, Adhäsive Kapsulitis, Fibromyalgie, Depression)</li> <li>Menschen mit Verletzungen</li> <li>Nicht sporttreibende Menschen</li> </ul>
Setting	Intervention nach/vor körperlicher Beanspruchung Einmalig, tägliche, mehrmals täglich, wöchentliche Intervention	Keine körperliche Beanspruchung vor bzw. nach Intervention, monatliche, jährliche Intervention

<i>Studiendesigns</i>	Randomisierte kontrollierte Studie (randomized controlled trial), Cross Over Studie,	Meta-Analyse, systematic review, peer review, review, Konzeptanalyse, narrative review, Artikel, books, Konzeptanalyse, Case Control Study,
<i>Intervention (IG)</i>	WBC oder PBC	CWI, Kaltwassertherapie, Eissprays, Kühlgels
<i>Kontrollgruppe (CON)</i>	Passive Erholung, Placebo	Medikamente (Antibiotikatherapie, Psychopharmaka), gleiche Intervention wie IG, Aktive Erholung, Dehnen, CWI, Wärmeapplikation, Laufen, Massage, usw.

### 3.4. Studienmerkmale

#### 3.4.1. Population

Es wurden nur Studien herangezogen in denen Proband/innen aktiv Sport ausüben, wobei die Leistungsfähigkeit oder die Leistungsstärken der Sportler/innen nicht berücksichtigt wurden. Es wurden sowohl Männer als auch Frauen berücksichtigt, die zum Zeitpunkt des Studienanfangs mindestens 17 Jahre alt waren und keine Erkrankungen oder Verletzungen aufwiesen.

#### 3.4.2. Interventionsmaßnahme vs. Kontrollintervention

Sowohl die Interventionsgruppe als auch die Kontrollgruppe mussten vor bzw. nach der Kälteapplikation eine Form einer körperlichen Beanspruchung (Wettkampf, Training, Sportmotorische Tests) haben. Bei der Interventionsgruppe musste im Anschluss entweder die Kälteapplikation in einer Kältekammer (WBC) erfolgen oder in einer Kältesauna (PBC). Es wurden alle Studien miteinbezogen die einmalig, täglich, mehrmals täglich und wöchentliche Interventionen durchführten. Studien, in denen keine körperliche Beanspruchung vor bzw. nach der Kälteintervention ausgeführt wurde, wurden nicht in der Literaturanalyse berücksichtigt. Die Kontrollgruppe musste einer anderen Art von Regenerationsmaßnahme ausgesetzt worden sein, wie passive Erholung (sitzend bei Raumtemperatur) oder Placebo (Saft oder Kältekammern bei Raumtemperatur). Nicht eingeschlossen wurden Studien, bei denen die Kontrollgruppe ausschließlich andere Interventionsmethoden ausgesetzt wurde, wie beispielsweise Wärmeapplikation, andere Formen der Kälteapplikation (Kühlgelds, Eissprays), aktive Erholung (Auslaufen, Dehnen, Schwimmen usw.), Massageformen, Medikamente (Antibiotikatherapie, Psychopharmaka), oder Nahrungsergänzungsmittel.

### 3.5. Selektion relevanter Studien

Anhand der bereits beschriebenen Operatoren, sowie der Ein- bzw. Ausschlusskriterien ergab die Literatursuche in der Onlinedatenbank „PubMed“ zahlreiche Treffer. Zusätzlich wurden durch Lesen zahlreicher Zusatzliteratur weitere relevante Studien gefunden und in die Analyse miteinbezogen. Insgesamt wurden anhand der Datenbank 82 relevante Artikel gefunden und zusätzlich noch 15 weitere Studien über weitere Recherche. Nachdem die Duplikate entfernt wurden, wurden der Titel und das Abstract der einzelnen Studien gelesen und auf ihre Relevanz gescreent. Bei den Studien (n = 30), die hier übrigblieben, wurde der Volltext gelesen und mit Hilfe der PEDro-Skala analysiert, ob die Studien genügen statistische Informationen beinhalten und valide sind, um interpretierbare Ergebnisse zu bekommen. Die PEDro-Skala besteht aus elf Items, die entweder mit „Ja“, „Nein“ oder „Keine Angabe“ beantwortet werden können. Es wird für jedes erfüllte Item ein Punkt vergeben. Je mehr Punkte die Studie bekommt desto geringer ist das Risiko der Verzerrung. Studien mit hohem Bias – Risiko könnten zu Problemen in der Auswertung führen (NHMRC, 2019). Die Gründe für den Ausschluss der zehn Studien waren unterschiedlich. Bei einer Studie gab es keine Kontrollgruppe (Grasso et al., 2014), bei weiteren drei Studien gab es zwar eine weitere Interventionsmaßnahme, jedoch immer im Zusammenhang mit Kälte und keine Kontrollgruppe (Selfe et al., 2014; Abaïdia et al., 2016; Mawhinney et al., 2017). Bei weiteren drei Studien gab es keine sportliche Belastung vor bzw. nach der Kälteexposition (Duch et al., 2019; Sliwicka et al., 2020; Bonomi et al., 2012). Bei einer weiteren Untersuchung wurden keine Angaben zum körperlichen Zustand der Proband/innen gegeben (De Nardi et al., 2015). Zwei weitere relevante Studien wurden nicht miteinbezogen, weil sie nicht den gewählten Zeitraum entsprachen (Hauswirth et al., 2011; Wozniak et al., 2011).

Die 22 verbliebenen Studien (Broatch et al., 2019; Chaoyi et al., 2020; Costello et al., 2012; Douzi et al., 2019; Ferreira-Junior et al., 2014a; Ferreira-Junior et al., 2014b; Ferreira-Junior et al., 2015; Fonda & Sarabon, 2013; Haq et al., 2021; Hohenauer et al., 2020; Kojima et al., 2018; Krüger et al., 2019; Krüger et al., 2015; Mila-Kierzenkowska et al., 2013; Russell et al., 2017; Schaal et al., 2013; Schaal et al., 2015; Vieira et al., 2015; Wilson et al., 2018; Wilson et al., 2019; Zembron-Lacny et al., 2020; Ziemann et al., 2012) die somit die Einschlusskriterien erfüllten wurden in die Literaturanalyse aufgenommen und für die Beantwortung der Forschungsfrage herangezogen. Nachstehend wird in Abbildung 10 das

PRISMA Flussdiagramm dargestellt, welches den genauen Vorgang der Selektion der Studien beschreibt.

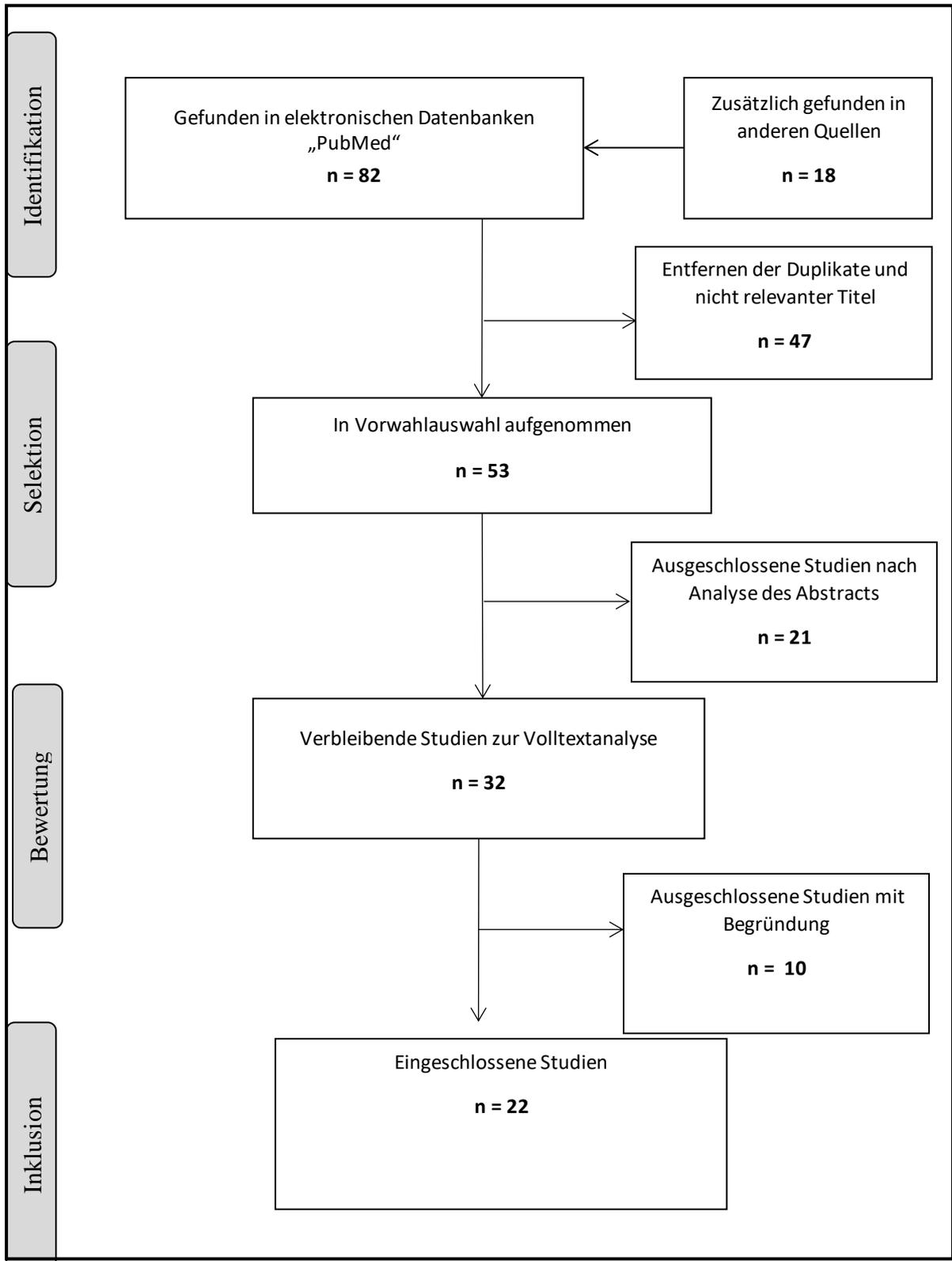


Abbildung 10: Flussdiagramm der ausgewählten Studien

### 3.6. Zusammenfassung der ausgewählten Studien

Die 22 ausgewählten Studien wurden im Anschluss zusammenfassend dargestellt.

#### 3.6.1. Studienteilnehmer/innen (participants)

Insgesamt wurde in den meisten Studien eine kleine Teilnehmer/innenanzahl getestet. Der Mittelwert der getesteten Personen lag bei  $17,77 \pm 8,21$  Personen pro Studie. Insgesamt wurden 391 körperlich aktive Menschen getestet von denen waren 338 (86,45%) männlich und 53 (13,55%) weiblich. Von den 22 ausgewählten Studien wurden in 18 ausschließlich Männer getestet, in drei nur Frauen (Hohenauer et al., 2020; Schaal et al., 2015; Schaal et al., 2013) und nur eine Studie schloss Frauen und Männer mit ein (Costello et al., 2012).

Das Alter der Teilnehmer/-innen der Studien war mit einem Mittelwert von 25,5 Jahren eher jung, wobei der Altersspektrum von 17 bis 55 Jahre reichte. In 11 der 22 Studien wurden keine speziellen Angaben zur Sportart der getesteten Personen gegeben. Die Personen wurden lediglich mit „körperlich aktiv“ beschrieben, was in den meisten Fällen mit mindestens dreimal in der Woche körperliche Aktivität gleichzusetzen ist. Weitere fünf Studien testeten ausschließlich männliche Ausdauerathleten (Wilson et al., 2019; Wilson et al., 2018; Krüger et al., 2015; Krüger et al., 2019; Chaoyi et al., 2020). Zwei weitere Untersuchungen wurden im Bereich von Ballsportarten (Fußball (Russell et al., 2017) und Volleyball (Mila-Kierzenkowska et al., 2013), zwei in Synchronschwimmerinnen (Schaal et al., 2015; Schaal et al., 2013) und jeweils eine Studie bei Ringern (Zembron-Lacny et al., 2020) und bei Tennisspielern (Ziemann et al., 2012).

#### 3.6.2. Sportliche Belastung

Die Belastungen, um Muskelermüdung hervorzurufen, waren vor allem High Intensity Trainings (HIT) am Laufband oder Fahrradergometer (10 Studien). Zwei weitere führten hoch intensive Trainingsinterventionen mit Sprints im Schwimmbecken durch (Schaal et al., 2013; Schaal et al. 2015). Darüber hinaus wurde in vier weiteren Studien (Ferreira-Junior et al., 2014a; Ferreira-Junior et al., 2014b; Vieira et al., 2015; Wilson et al., 2019) ein Beinkrafttraining, vor allem mit Hilfe des Isokinetischer Dynamometers durchgeführt. Eine Studie wählte als Belastungsreiz beide Maßnahmen (HIT und Krafttraining) (Costello et al., 2012). Zwei weitere Untersuchungen verwendeten als Maßnahme eine hohe Anzahl an Drop Jumps (DJ) (Ferreira-Junior et al., 2015; Hohenauer et al., 2020). Eine Studie wählte als Belastungsreiz einen Marathon aus (Wilson et al., 2018) und zwei Studien wurden inmitten

eines Trainingscamps mit drei Trainings am Tag durchgeführt (Zembron-Lacny et al., 2020; Ziemann et al., 2012).

### 3.6.3. Interventionsmethode

In den 22 Studien wurden in 15 Studien Kältekammern (WBC) als Interventionsmethode herangezogen, während sieben Studien Kryosaunen als Kälteapplikation verwendeten. 15 Studien (68%) machten eine einmalige Intervention, zwei weitere hatten zwei Sitzungen mit lediglich 15 min Abstand (Wilson et al., 2018; Wilson et al., 2019). Zwei Studien hatten über mehrere Tage eine tägliche Intervention (12 Tage (Broatch et al., 2019), 6 Tage (Fonda & Sarabon, 2013), 14 Tage (Schaal et al., 2015)) und weitere zwei hatten über mehrere Tage zwei Sitzungen immer vormittags vor dem Training und abends nach dem letzten Training (7 Tage (Zembron-Lacny et al., 2020), 5 Tage (Ziemann et al., 2012)). Die Kälteapplikation fand in 20 (90,9%) von den 22 Studien nach der Belastung statt, und zwar in einem Zeitraum von  $31,25 \pm 18,34$  Minuten. In einer weiteren Studie fand die Kälteanwendung erst nach 24 Stunden statt (Costello et al., 2012) und in einer weiteren, wurde eine einmalige Kälteanwendung vor der Belastung durchgeführt (Mila-Kierzenkowska et al., 2013).

### 3.6.4. Kontrollmethode

Als Kontrollmethode wurde darauf geachtet, dass immer eine passive Kontrollgruppe ohne Kältereiz in der Studie miteingeschlossen wurde. In 15 Studien wurde für die CON-Gruppe entweder keine Intervention oder sitzend bei Raumtemperatur vorgegeben. In fünf weiteren Studien (Vieira et al., 2015; Costello et al., 2012; Ferreira-Junior et al., 2014a; Ferreira-Junior et al., 2014b; Ferreira-Junior et al., 2015) wurde die CON-Gruppe ebenfalls in die Kältekammer bzw. Kryosauna geschickt, jedoch wurde die Temperatur nur minimal zur Raumtemperatur verringert ( $19,8 \pm 2,68^{\circ}\text{C}$ ). In weiteren zwei Studien wurde der Kontrollgruppe ein Placebo Getränk bzw. eine Placebo-Tablette ausgegeben (Wilson et al., 2018; Wilson et al., 2019).

### 3.6.5. Test

Für alle Studien wurden Messwerte vor und nach der Intervention erhoben. Die meisten Studien erfassten die Werte direkt nach (Zeitpunkt 0 h), 24 h, 48 h und 72 h nach der Intervention. Die erhobenen Daten und was getestet wurde, wird nun in den Ergebnissen genauer dargestellt.

### 3.7. Zusammenfassung der einzelnen Studien

Im Anschluss werden die einzelnen Studien zuerst in der Tabelle und anschließend im Text mit den Ergebnissen und Schlussfolgerungen zusammengefasst.

AUTOR/-INNEN Studiendesign	ZIEL/ SUBJEKTE	SPORTLICHE BELASTUNG/ WBC ODER PBC INTERVENTION VS. CON/ TESTZEITPUNKT	WBC BZW.PBC EFFEKTE IM VERGLEICH ZUR CON GRUPPE („+“ POSITIVER EFFEKT, „-“ NEGATIVER EFFEKT, „=“ KEIN UNTERSCHIED
<b>1. BROATCH ET AL., 2019</b>  (RCT) <sup>13</sup>	Physiologischen und leistungsbezogenen Auswirkungen von WBC nach EIMD  22 körperlich aktive Männer (37 ± 9y)	WBC 15min nach sportlicher Belastung (90min HIT Cycling)  WBC: Kältekammer (1x täglich (3x di Woche für 4 Wochen) für 3min (4w – 12 EH) bei -10°, -60°C, -110°C) CON: Passiv (3min sitzend bei 23°C)  Tests: Baseline (4w vor Intervention), nach 48h	= VO <sub>2max</sub> , P <sub>max</sub> (aerobe Leistungsfähigkeit) = T <sub>lim</sub> (Zeit bis zur Erschöpfung) = Hormonausschüttung (Adrenalin/Noradrenalin/Cortisol) = Schlafqualität, Schlafdauer, Schlafeffizienz + Körpertemperatur niedriger
<b>2. CHAOYI ET AL., 2020</b>  (RCT)  CO <sup>14</sup> (1W WASCHOUT)	Auswirken von WBC auf die Regeneration nach EIMD  12 Mittel- und Langstreckenläufer (21.00 ± 0,95y)	PBC 15min nach sportlicher Belastung (90min HIT-Laufband, 20x40reps DJ)  PBC: Kryosauna (1x für 3min bei -110° bis -140°C) CON: Passiv (12min sitzend bei 24°C) CWI: Kaltwasserbad (12min bei 15°C) CWT: 6x (1min bei 15°C – 1min bei 38°C)  Tests: Baseline, 0h, 24h, 48h, 72h	+ Schmerzempfindung + CK niedriger + VJH (vertikal jump high) höher + CRP-Aktivität niedriger
<b>3. COSTELLO ET AL., 2012</b>  (RCT)	Auswirkung von WBC nach Krafttraining  18 körperlich aktive Personen (4w/14m) (21.2 ± 2.1y)	WBC 24h nach Belastung (20x5reps am Isokinetischen Dynamometer (Beine), Sprinttest am Fahrradergometer 5x 6sec)  WBC: Kältekammer (1x für 20sec bei -60°C, dann 3min bei -110°C) PAS: Kältekammer (3min bei 15 ± 3°C) Tests: Baseline, 24, 48, 72, 96h post-treatment	= MVIC (maximal voluntary isometric contraction) = P <sub>max</sub> = Muskelkater

<sup>13</sup> Randomized Controlled Trial

<sup>14</sup> Cross Over Studie

<p><b>4. DOUZI ET AL., 2019</b></p> <p>(RCT)</p> <p>CO (1W WASCHOUT)</p>	<p>Schlafqualität nach WBC nach EIMD</p> <p>22 körperlich aktive Männer (28.5 ± 7.3 y)</p>	<p>WBC: 30min nach Belastung (55min HIT-Laufband)</p> <p>WBC: Kältekammer (1x für 30sec bei -25°C, dann 3min bei -40°C)</p> <p>CON: Passiv (3min bei Raumtemperatur)</p> <p>Tests: während der folgenden Nacht, am nächsten Morgen</p>	<p>+ subjektive Schlafqualität</p> <p>+ objektive Schlafqualität (geringere Bewegungen im Schlaf, Schlafeffizienz)</p> <p>+ Schmerzempfinden reduziert</p> <p>= HRV (Herzratenvariabilität)</p> <p>+ Verbesserte Reaktivierung parasymphatische Aktivität in SWS (slow wave sleep)</p>
<p><b>5. FERREIRA-JUNIOR ET AL., 2014a</b></p> <p>(RCT)</p>	<p>Neuromuskuläre Effekte von WBC auf Leistungsfähigkeit nach EIMD</p> <p>13 körperlich aktive Männer (27.9 ± 4.2 y)</p>	<p>PBC 30min nach Belastung (2x4reps Isokinetischer Dynamometer (Ellbogenbeuger))</p> <p>PBC: Kryosauna (1x für 3min bei -110°C)</p> <p>CON: Kryosauna (1x 3min bei 21°C)</p> <p>Tests: Baseline, 10min danach</p>	<p>= max. Drehmoment (peak torque)</p> <p>= durchschnittlichen Leistung (average power)</p> <p>= Gesamtleistung der Muskelaktivität (total work or muscle activity)</p>
<p><b>6. FERREIRA-JUNIOR ET AL., 2014b</b></p> <p>(RCT)</p> <p>CO (1W WASCHOUT)</p>	<p>Auswirkung PCB auf Regeneration nach Krafttraining</p> <p>12 körperlich aktive Männer (23.9 ± 5.9 y)</p>	<p>40min nach Belastung (Belastung – Intervention – Belastung) (6x10reps konzentrische Kniebeugeübung/ 6x10reps exzentrische Kniebeugeübung am Isokinetischer Dynamometer)</p> <p>PBC: Kryosauna (1x für 3min bei -110°C)</p> <p>CON: Kryosauna (1x 3min bei 21°C)</p> <p>Tests: Baseline, 40min nach Intervention</p>	<p>+ Erholung der exzentrischen Muskulatur</p> <p>= Erholung der konzentrischen Muskulatur</p> <p>+ Gesamtleistung exzentrische Muskulatur</p> <p>= Gesamtleistung konzentrische Muskulatur</p>
<p><b>7. FERREIRA-JUNIOR ET AL., 2015</b></p> <p>(RCT)</p> <p>CO (1W WASHOUT)</p>	<p>Effekte von WBC nach Sprungtraining auf Muskelregeneration</p> <p>26 körperlich aktive Männer (20.2 ± 2.5 y)</p>	<p>PCB 10min nach Belastung (5set von 20DJ)</p> <p>PCB: Kryosauna (1x 3min bei -110°C)</p> <p>CON: Kryosauna (1x 3min bei 21°C)</p> <p>Tests: Baseline, 0, 24, 48, 72, 96h</p>	<p>+ max. Drehmoment</p> <p>+ Muskeldicke (bei CON höher)</p> <p>= Muskelkater</p>
<p><b>8. FONDA &amp; SARABON 2013</b></p> <p>(RCT)</p>	<p>Auswirkungen von WBC auf Leistungs- und Schmerzparameter nach EIMD</p> <p>11 körperlich aktive Männer (26.9 ± 3.8 y)</p>	<p>PBC 1h nach Belastung (5x10reps DJ, 5x10reps plyometric Legcurl, 1x 10reps eccentric Legcurl)</p> <p>PCB: Kryosauna (1x täglich für 6 Tage: 3min bei -140°C bis -195°C)</p> <p>CON: Keine Intervention</p>	<p>+ Schmerzempfindung (bei Aktivität und in Ruhe)</p> <p>+Startsprungkraft</p> <p>+ max. Drehmoment</p> <p>+ Geschwindigkeit der Drehmomententwicklung (RTD)</p> <p>= CK, AST, LDH</p>

<b>CO (10 W WASHOUT)</b>		Tests: Baseline, 1, 24, 48, 72, 96 and 120h	= Maximalleistung/Maximalkraft = Sprunghöhe
<b>9. HAQ ET AL., 2021</b>  <b>(RCT)</b>	Körperliche Auswirkungen von WBC nach EIMD  41 Hobbysportler (42.0 ± 13.7y)	WBC 1h nach Belastung (30min Berglauf (15% Steigung)  WBC: Kältekammer (1x 30sec bei -60°C, dann 150sec bei -120°C) CON: Passiv (3min bei 20°C)  Tests: Baseline, 24h nach Belastung (Maximalkraft) Baseline, 0h, 1h und 24h (CK, Muskelkater)	= Muskelkater = Wohlbefinden = CK + max. Drehmoment + geringere Körpertemperatur
<b>10. HOHENAUER ET AL., 2020</b>  <b>(RCT)</b>	Auswirkung von WBC auf Erholungsparameter nach EIMD  28 körperlich aktive Frauen (22.5 ± 2.7 y)	PBC 15min nach Belastung (5x20reps DJ)  PBC: Kryosauna (1x 30sec bei -60°C, dann 120sec bei -135°C) CWI: Eisbad (10min bei -10°C) CON: Passiv (10min bei 21 ± 2°C)  Tests: Baseline, 0h, 1h, 24h, 48, 72h	+ Muskelgewebssättigung (SmO <sub>2</sub> (%)) niedriger = MAP (Blutdruck) + Schmerzempfindung (DOMS) + Körpertemperatur ersten 10min niedriger = Muskeldicke = MVIC (Maximum voluntary isometric contraction) + VJP (1h & 24h)
<b>11. KOJIMA ET AL., 2018</b>  <b>(RCT)</b> <b>CO (2W WASHOUT)</b>	Auswirkungen von WBC auf Energieaufnahme, Leistungs- und Erholungsparameter nach EIMD  12 Collage Athleten (20.5 ± 1.1y)	WBC 10min nach Belastung (Fahrradergometer Maximalsprints Intervalle)  WBC: Kältekammer (1x 3min bei -140°C) CON: Passiv (Raumtemperatur)  Tests: Baseline, 30min nach Intervention	= Leistungsfähigkeit = Ermüdungszustand + Muskelkater + VCO <sub>2</sub> (Kohlendioxidausstoß), AMV (Atemminutenvolumen), HF niedriger in WBC = VO <sub>2</sub> max, Lactat, Insulin, Glucose + Energieaufnahme höher nach WBC
<b>12. KRÜGER ET AL., 2019</b>  <b>(RCT)</b> <b>CO (1W WASHOUT)</b>	Effekte von WBC auf Körper nach EIMD  11 Ausdauerathleten (25.9 ± 2.1 y)	WBC 45min nach Belastung (5x5min HIT am Laufband 90% Schnelligkeit <sub>max</sub> )  WBC: Kältekammer (1x 3min bei -10°, -60°C, -110°C) CON: Passiv (3min durch den Raum gehend bei 21-22°C)  Tests: Baseline, 1h, 4h und 24h danach	= Entzündungsmarker IL-6 & IL-10 = Myoglobinkonzentration = Hormonausschüttung (Testosteron, Cortisol) = Anzahl Leukozyten
<b>13. KRÜGER ET AL., 2015</b>  <b>(RCT)</b>	Auswirkungen von WBC auf akute Erholung nach EIMD  11 Ausdauerathleten (25.9 ± 2.1 y)	WBC 45min nach Belastung (5x5min HIT am Laufband 90% Schnelligkeit <sub>max</sub> )  WBC: Kältekammer (1x 3min bei -10°, -60°C, -110°C) CON: Passiv (3min durch den Raum gehend bei 21-22°C)	+ T <sub>lim</sub> (Zeit bis zur Erschöpfung) länger + Laktatwerte höher + Muskelgewebssättigung höher (maximal und submaximal) + submaximale Belastungen (VO <sub>2</sub> max, HF, RPE niedriger) (rating of perceived exertion)

CO (1W WASHOUT)		Tests: Baseline, 1h, 4h und 24h danach	= maximale Belastungen (VO <sub>2max</sub> , HF, RPE niedriger) + Körpertemperatur niedriger = Wahrnehmungsgefühl (Fitness, Energie, Leistungsbereitschaft)
<b>14. MILA-KIERZENKO WSKA ET AL., 2013</b>	Auswirkungen von WBC vor Belastung	WBC vor Belastung (40min submaximales Training am Fahrradergometer)	= Blutmarker (CD, TBARS; GPx, OS) + CAT (catalase), SOD (Superoxid Dismutase) (niedriger) + Zytokine (IL-1 $\beta$ and IL-6 Level (niedriger) = TNF- $\alpha$
(RCT)	18 männliche Volleyballspieler (28.32 $\pm$ 4.01y)	WBC: Kältekammer (Precooling bei -60°C, dann bei -130°C für 2min) CON: keine Intervention	
CO (2W WASHOUT)		Tests: Baseline (vor WBC), nach WBC, nach Belastung	
<b>15. RUSSELL ET AL., 2017</b>	Auswirkungen von WBC auf Leistungs- und Wahrnehmungsreaktionen nach EIMD	WBC 20min nach Belastung (Sprinttraining 15x30m Sprints)	+ Testosteronkonzentration (nach 2h und 24h) = Cortisol, Testosteron/Cortisol
(RCT)	14 Fußballspieler (17-21y)	WBC: Kältekammer (1x 60sec bei -60°C, dann 120sec bei -135°C) CON: Passiv (sitzend bei 25°C)	= CMJ-Leistung = Sprintleistung = Laktatwerte = CK = Schmerzempfindung = subjektive Erholung
CO (1W WASHOUT)		Tests: Baseline, 0h, 2h und 24h	+ HRV höher + HF niedriger = Laktatabbau + VO <sub>2max</sub> - RPE
<b>16. SCHAAL ET AL., 2013</b>	Auswirkung von WBC auf parasympathische und metabolische Parameter nach EIMD	WBC 35min nach Belastung (45min Einschwimmen + Tanz 4min)	
(RCT)	11 Elite Synchronschwimmerinnen (20.3 $\pm$ 1.8 y)	WBC: Kältekammer (3min bei -10°, -60°C, -110°C) CON: Passiv (30min Raumtemperatur) CWT: (60sec bei 9°C-60sec bei 39°C, 8x warm/7xkalt) ACT: 15min Freischwimmen (jede Woche eine Intervention)	
CO (1W WASHOUT)		Tests: Baseline (HF), nach erste EH (1h), dann Intervention (35min) wieder Test, nach zweiter EH (20min)	
<b>17. SCHAAL ET AL., 2015</b>	Auswirkungen von WBC nach EIMD auf Übertrainingsparameter	WBC circa 1h nach Belastung (25 EH Schwimmtraining (submaximale Schwimmintervalle, maximales 400m Freischwimmen)	+ Max. Schnelligkeit, Laktat, Amylase = HF, Cortisol + Schlafqualität, (Schlafdauer, kürzere Einschlafzeit, Schlaffeffizienz) = subjektive Schlafqualität
(RCT)			

<b>CO (9 TAGE WASHOUT)</b>	10 Elite Synchronschwimmerinnen (20.4 ± 0,4y)	WBC: Kältekammer täglich für 14 Tage (3min bei -10,-60,-110°C) CON: Keine Intervention	+ subjektive Ermüdung
<b>18. VIEIRA ET AL., 2015</b>	Auswirkungen von WBC auf die Sprungleistung nach EIMD	Tests: Baseline, nach 14 Tage Intervention PBC 30min nach Belastung (6x10reps Isokinetischer Dynamometer exzentrisch und konzentrisch)	= Körpertemperatur = Keinen Einfluss auf VJH (Sprunghöhe, Sprungkraft, Schnellkraft)
<b>(RCT)</b>	12 körperlich aktive Männer (23.9 ± 5.9y)	PBC: Kryosauna (1x 3min bei -110°C) CON: Kryosauna (1x 3min bei 21°C)	
<b>CO (1W WASHOUT)</b>		Tests: Baseline, 30min nach Intervention	
<b>19. WILSON ET AL., 2018</b>	Auswirkungen WBC auf Regeneration nach Marathon	WBC 15min nach Belastung (Marathon)	- Max. Drehmoment, MVIC, DVZ (Reactive strength index)
<b>(RCT)</b>	31 Ausdauerathleten (28-49y)	WBC: Kältekammer (1x 3min bei -85°C, dann 15min Aufwärmphase, dann 4min bei -85°C) CWI: Eisbad 10min bei 8°C CON: Placebo (2x am Tag Saft)	=Muskelkater, DALDA <sup>15</sup> (24h) + Muskelkater (48h), DALDA (48) - CK (24h), CRP(24h), TNF- $\alpha$ , IL-6 + CRP (48h)
<b>20. WILSON ET AL., 2019</b>	Auswirkungen von WBC auf Regeneration nach EIMD	Tests: Baseline, 24, 48h WBC 15min nach Belastung (4x6reps squats, 4x8 splitsquats, 4x8 hipthrusts, 4x8 Romanian deadlifts)	= Muskelkater (48h,72) + Muskelkater (24h) = DALDA = MVIC, max. Drehmoment =RSI, CMJ = isometrische Squatleistung = CK, IL-6, CRP, TNF- $\alpha$ -RDF (rate of force development) nach 24h + nach 48h
<b>(RCT)</b>	24 Ausdauerathleten (18-35y)	WBC: Kältekammer (1x 3min bei -85°C, dann 15min Aufwärmphase, dann 4min bei -85°C) CWI: Eisbad 10min bei 10°C CON: Placebo (Tablette nach dem Training)	
		Tests: Baseline, 0h, 1h, 2h, 24h, 48h, 72h	

<sup>15</sup> Daily analysis of the lifestyle demands of athletes

<p><b>21. ZEMBRON-LACNY ET AL., 2020</b></p> <p><b>(RCT)</b></p>	<p>Auswirkungen von WBC auf Regenerationsprozesse nach EIMD</p> <p>20 Ringer (20-28y)</p>	<p>WBC circa 1h nach Belastung (Trainingscamp)</p> <p>WBC: 2x am Tag für 7 Tage (3min bei -120°C) CON: Passiv (sitzend bei 23°C)</p> <p>Tests: Baseline, 1 Tag nach Intervention</p>	<p>+ CK = Mb - Entzündungsmediatoren (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NO) = TNF-<math>\alpha</math> + IL-1<math>\beta</math>, CRP (beides niedriger)</p>
<p><b>22. ZIEMANN ET AL., 2012</b></p> <p><b>(RTC)</b></p>	<p>Immunologische, hormonelle und hämatologische Auswirkungen von WBC nach EIMD</p> <p>12 Tennisspieler (18 -26y)</p>	<p>15min Belastung 3 Trainings pro Tag</p> <p>WBC: Kältekammer (2x am Tag (Vm, abends) für 5 Tage bei -120°C) CON: Passiv keine Intervention</p> <p>Tests: Körperliche Tests (3 Tage vor Intervention), dann 1. Tag der Intervention Tennistest, nach Ende der Intervention Wiederholung Tennistest, 2 Tage danach Körperliche Tests.</p>	<p>+ Anstieg Basophilanteil (Leukozyten) + TNF-<math>\alpha</math> Konzentration um 60% verringert als in CON + IL-6 Konzentrationsanstieg + Testosteronanstieg = RMR + CK-Abfall bei WBC, während kein Unterschied bei CON + Cortisol Anstieg bei WBC, während Abfall bei CON + VO<sub>2</sub>max + Psychische Konzentration (Schlageffizienz)</p>

## **1. Broatch et al., 2019**

Das Ziel der Studie war es die physiologischen und leistungsbezogenen Auswirkungen einer regelmäßigen Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) (12 Einheiten über vier Wochen) nach einem hochintensiven Intervalltraining (HIT) zu untersuchen. In einem parallelen zwei Gruppen Design führten zweiundzwanzig körperlich aktive Männer ( $37 \pm 9$  y) vier Wochen lang, dreimal in der Woche ein HIT – Training am Fahrradergometer durch, wobei auf jede Belastung entweder eine dreiminütige Kälteexposition (WBC:  $-110$  °C) oder eine passive Kontrolle (CON) folgten. Zur Beurteilung der adaptiven Reaktionen der WBC auf den Körper wurden vor und nach der Trainingsperiode folgende Tests durchgeführt: abgestufter Belastungstest (GXT), ein Zeit-bis-Erschöpfungs-Test ( $T_{max}$ ), ein 20-km-Zeitfahren (20TT) und ein 120-minütiger Submaximaltest (SM120). Vor und nach dem Training wurden Blutproben entnommen, um Veränderungen der basalen Nebennierenhormone (Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol) zu messen. Außerdem wurde die Schlafqualität mittels eines Aktigraphs<sup>16</sup> gemessen.

Ergebnisse: Im Vergleich zur CON hatte die Anwendung der WBC nach jeder Trainingseinheit während vier Wochen HIT keine signifikanten Auswirkungen auf die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ), aerobe Spitzenleistung ( $P_{peak}$ ), Nebennierenhormone oder Schlafqualität.

Conclusio: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine regelmäßige WBC nach dem Training keine effektive Strategie ist, um trainingsinduzierte Anpassungen über vier Wochen HIT zu verbessern.

## **2. Chaoyi et al., 2020**

Ziel der Studie war es die Auswirkungen von CWI, CWT und WBC auf die Regenerationszeit nach trainingsbedingten Muskelschäden zu vergleichen. Zwölf männliche Mittel- und Langstreckenläufer ( $21,00 \pm 0,95$  y) nahmen an der Studie im Cross Over Design teil. Die Teilnehmer wurden mit verschiedenen Erholungsmethoden einmal pro Woche (Kontrolle [CON], CWI, CWT, WBC) unmittelbar nach dem Training behandelt. Getestet wurden die subjektiven Schmerzwahrnehmung mit Hilfe der visuellen Analogskala (VAS), die Plasma-Kreatinkinase (CK), das Plasma-C-reaktive Protein (CRP) und die

---

<sup>16</sup> Aktigraph: Ist ein Messgerät, was einer Armbanduhr ähnelt und ein nichtinvasives Verfahren zur Messung menschlicher Aktivitäts- und Ruhezzyklen.

Vertikalsprunghöhe (VJH) vor dem Training, unmittelbar nach dem Training und 1, 24, 48, 72 und 96 Stunden nach dem Training.

Ergebnisse: Der VAS-Score, CRP und die CK-Aktivität waren in der WBC-Gruppe signifikant niedriger als bei den anderen Interventionen ( $P < 0,05$ ). Die VJH konnte nach einer WBC ebenfalls signifikant bessere Werte erzielen als die anderen Interventionen ( $P < 0,05$ ).

Conclusio: WBC wirkte sich positiv auf VAS, CK, CRP und VJH im Zusammenhang mit EIMD (exercise-induced muscle damage) aus.

### **3. Costello et al., 2012**

Das Ziel dieser Studie war es die Auswirkungen der Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) auf die propriozeptive Funktion, die Erholung der Muskelkraft nach exzentrischen Muskelkontraktionen und die Körpertemperatur zu untersuchen. Achtzehn Proband/innen wurden zufällig in einem parallelen zwei Gruppen Design entweder der Interventionsgruppe (WBC bei  $-110^{\circ}\text{C}$  für 3 min) oder der Kontrollgruppe (CON bei  $15^{\circ}\text{C}$  für 3 min) zugeteilt. Getestet wurden die maximale freiwillige isometrische Kontraktion (MVIC) der Kniestrecker, die Spitzenleistung ( $P_{\text{peak}}$ ) bei wiederholten Sprints auf einem Fahrradergometer und das Schmerzempfinden (Muskelkater) und zwar vor, unmittelbar nach der Exposition, die 24h nach der Belastung stattfand, und 24, 48 und 72 h nach der Kälteapplikation.

Ergebnisse: Die WBC hatte keine signifikanten Auswirkungen auf MVIC,  $P_{\text{peak}}$  oder Muskelkater nach exzentrischem Training.

Conclusio: Eine WBC, die 24 Stunden nach dem exzentrischen Training angewendet wird, ist unwirksam bei der Linderung von Muskelkater oder der bei Verbesserung der Erholung der Muskelkraft.

### **4. Douzi et al., 2019**

Diese Studie zielte darauf ab, die Wirkung einer Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) nach dem abendlichen Training auf die Schlafqualität und die nächtliche Herzfrequenzvariabilität (HRV) zu untersuchen. Insgesamt wurden 22 körperlich aktive Männer ( $28,5 \pm 7,3$  y) randomisiert entweder einer WBC (3 Minuten bei  $-40^{\circ}\text{C}$ , Windgeschwindigkeit von  $2,3 \text{ m s}^{-1}$ ) oder einer passiven Erholung (CON) nach dem Training (25 min kontinuierliches Laufen bei 65% - 85% der max. Geschwindigkeit). In der folgenden Nacht wurden die

Anzahl der Bewegungen und die HRV während der Schlafzeit aufgezeichnet. Am nächsten Morgen wurden die subjektive Schlafqualität und der empfundene Muskelschmerz erfasst.

Ergebnisse: Die Anzahl der Bewegungen während der Nacht nach der WBC war im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant geringer ( $P < 0,05$ ). Die subjektive Schlafqualität nach der WBC war signifikant besser als in CON ( $P < 0,05$ ). Während des geschätzten Langsamwellenschlafs (SWS) war die Hochfrequenzleistung (HF) in der WBC-Gruppe höher als in der Kontrollgruppe ( $P < 0,05$ ) und die Niederfrequenzleistung (LF) und das LF/HF-Verhältnis waren niedriger als die Kontrollgruppe ( $P < 0,05$ ). Der subjektiv empfundene Muskelschmerz war ebenfalls nach der WBC-Intervention im Vergleich zur Kontrollintervention signifikant geringer ( $P < 0,01$ ).

Conclusio: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung einer dreiminütiger WBC nach dem Training am Abend die subjektive und objektive Schlafqualität bei körperlich aktiven Probanden verbessert, was auf eine größere Schmerzlinderung und eine verbesserte parasympathische Nervenaktivität während der SWS-Periode zurückzuführen sein kann.

## **5. Ferreira-Junior et al., 2014a**

Das Ziel dieser Studie war es die Auswirkungen einer einzelnen WBC-Exposition auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit der Ellbogenbeuger zu bewerten. Dreizehn körperlich aktive Männer ( $27,9 \pm 4,2$  y) wurden zufällig im Crossover Design zwei verschiedenen experimentellen Bedingungen ausgesetzt. Zum einen einer Ganzkörper-Kryotherapie (3 min bei  $-110$  °C) und einer passiven Bedingung (CON: 3 min bei  $21$  °C). Alle Probanden wurden 30min vor und 10min nach jeder Bedingung auf maximale isokinetische Ellbogenflexion bei  $60$  °.s<sup>-1</sup> getestet.

Ergebnisse: Zwischen den Bedingungen gab es keine signifikanten Unterschiede im maximalem Drehmoment, der durchschnittlichen Leistung, der Gesamtarbeit oder der Muskelaktivität.

Conclusio: Kraftspezialisten, Sporttrainer und Physiotherapeuten können vor dem Training oder der Rehabilitation eine Ganzkörper-Kryotherapie anwenden, ohne die neuromuskuläre Leistung der Ellbogenbeuger zu beeinträchtigen.

## **6. Ferreira-Junior et al., 2014b**

Das Ziel dieser Studie war es die Auswirkungen einer einzelnen Ganzkörper-Kryotherapie zwischen den Trainingseinheiten auf die Regeneration zu ergründen. 12 junge Männer ( $23,9 \pm 5,9$  y) wurden nach dem Zufallsprinzip zwei verschiedenen Bedingungen im Cross Over Design ausgesetzt. Eine Intervention war eine WBC bzw. PCB (3 min bei  $-110$  °C) und die andere war eine Kontrollintervention (3 min bei  $21$  °C). Die Probanden wurden nach der ersten Trainingseinheit einer Teilkörper-Kryotherapie ausgesetzt.

Ergebnisse: Die Abnahme des exzentrischen maximalen Drehmoments und der Maximalkraft waren signifikant geringer nach PBC im Vergleich zur Kontrollintervention ( $P < 0,05$ ). Die Abnahme des konzentrischen maximalen Drehmoments und Maximalkraft war jedoch nicht signifikant unterschiedlich.

Conclusio: Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Anwendung von WBC zwischen den Trainingseinheiten die Erholung der exzentrischen Muskelleistung verbessern kann.

## **7. Ferreira-Junior et al., 2015**

Ziel der Studie war es die Auswirkungen einer einzelnen Sitzung PBC auf die Muskelregeneration zu ergründen. Dafür führten 26 körperlich aktive Männer ( $20,2 \pm 2,5$  y) ein intensives Sprungkrafttraining durch, das aus fünf Sätzen mit 20 Drop Jumps mit 2-minütigen Pausen zwischen den Sätzen bestand. Nach der Übung wurden die Teilnehmer zufällig entweder der Interventionsgruppe (PBC: 3 min bei  $-110$  °C) oder der Kontrollgruppe (CON: 3 min bei  $21$  °C) ausgesetzt. Die Dicke der vorderen Oberschenkelmuskulatur, das isometrische maximale Drehmoment und der Muskelkater der Kniestrecke wurden vor, nach (Zeitpunkt 0 h), 24, 48, 72 und 96 Stunden nach dem Training gemessen.

Ergebnisse: Das maximale Drehmoment kehrte in der Kontrollgruppe nicht zum Ausgangswert zurück, während die PBC-Gruppe den maximale Drehmoment 96 Stunden nach dem Training, jedoch nicht signifikant, wiedererlangte ( $P > 0,05$ ). Das maximale Drehmoment war nach PBC bei 72 und 96 h im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höher ( $P < 0,05$ ). Die Muskeldicke nahm nach 24 h in der Kontrollgruppe zu und war nach 24 und 96 h signifikant höher als in der PBC-Gruppe ( $P < 0,05$ ). Kein signifikanter Unterschied wurde bei der Schmerzempfindung beobachtet.

Conclusio: Diese Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass PBC nach körperlich anstrengendem Training die Regenerationszeit verkürzen kann.

### **8. Fonda & Sarabon, 2013**

Das Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen der Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) auf die ischiocrurale Muskulatur nach intensivem Training zu untersuchen. Dazu wurden biochemische sowie Schmerz- und Leistungsparameter während einer 6-tägigen Regenerationsphase erhoben. Elf körperlich aktive Männer ( $26,9 \pm 3,8$  y) wurden nach einem sprung- und beinkraftintensiven Training einmal im Crossover Design einer WBC-Intervention ausgesetzt (6 Tage: täglich 3 min bei  $-140$  bis  $195^{\circ}\text{C}$ ) oder einer Kontrollintervention (keine Intervention). Während der Erholungsphase wurden die Probanden auf biochemische Marker, subjektives Schmerzempfinden und körperliche Leistungsfähigkeit (CMJ, DJ, maximales Drehmoment, Explosivität des Sprunges) vor der Intervention und 1, 24, 48, 72, 96 und 120 h nach der Intervention danach getestet.

Ergebnisse: Das maximale Drehmoment, die Geschwindigkeit der Drehmomententwicklung (RTD) (beides  $P < 0,05$ ) und die Startsprungkraft ( $P < 0,001$ ) waren nach einer WBC-Intervention signifikant höher als in der CON. Das Schmerzempfinden war bei Aktivität ( $P < 0,01$ ) und in Ruhe ( $P < 0,05$ ) signifikant geringer als in der Kontrollgruppe. Es wurde kein signifikanter Unterschied in den Blutmarkern (CK, AST, LDH), der Sprunghöhe, der Maximalkraft und -leistung gefunden.

Conclusio: Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen die Verwendung von WBC zur Verbesserung der Erholung nach intensiven Sprung- und Krafttraining nur teilweise.

### **9. HAQ et al., 2021**

Diese Studie untersuchte die körperlichen Auswirkungen einer einmaligen Kälteexposition (WBC) nach einem Berglauf. 41 körperlich aktive Männer ( $42,0 \pm 13,7$  y) wurden im Zufallsprinzip in eine WBC ( $n = 26$ ) und eine Kontrollgruppe (CON,  $n = 15$ ) eingeteilt. Die Teilnehmer absolvierten einen 30-minütigen Downhill-Lauf (15 % Steigung) bei 60 %  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Die WBC-Gruppe wurde eine Stunde nach dem Lauf einer Kryotherapie (3 min bei  $-120^{\circ}\text{C}$ ) unterzogen, und die CON-Teilnehmer erholten sich in der Zwischenzeit sitzend bei Raumtemperatur ( $20^{\circ}\text{C}$ ). Das maximal isometrische Drehmoment der Beinmuskulatur wurde vor, unmittelbar danach (Zeitpunkt 0) und 24 Stunden nach dem Lauf bestimmt. Die

Blutkreatinkinase (CK) und das Schmerzempfinden (Muskelkater) wurden vor, nach, eine Stunde und 24 Stunden nach dem Lauf gemessen.

Ergebnisse: Der Muskeldrehmoment nahm in der WBC-Gruppe signifikant weniger stark ab als in der CON-Gruppe ( $P < 0,05$ ). Es wurde kein signifikanter Unterschied in CK und Schmerzempfindung zwischen den Interventionen gemessen.

Conclusio: Eine WBC kann Muskelschäden abschwächen und die Erholung der Muskelkraft nach exzentrischen Übungen fördern, insbesondere bei jungen Männern.

#### **10. Hohenauer et al., 2020**

Ziel dieser Studie war es die unterschiedlichen Auswirkungen von Kaltwasser-Immersion (CWI), Ganzkörperkältetherapie WBC bzw. PBC oder einer passiven Kontrolle (CON) auf physiologische und Erholungsvariablen nach belastungsinduzierten Muskelschäden (EIMD,  $5 \times 20$  DJ) bei Frauen ( $22,5 \pm 2,7$  y) zu untersuchen. Achtundzwanzig Probandinnen wurden entweder einer PBC für 30 Sekunden bei  $-60$  °C und anschließend zwei Minuten bei  $-135$  °C, CWI (10 min bei  $10$  °C) oder CON (10 min passive Erholung) zugeteilt. Die Muskelsauerstoffsättigung ( $SmO_2$ ), die kutane Gefäßleitfähigkeit (CVC), der mittlere arterielle Druck (MAP) und die Körpertemperatur wurden zu Studienbeginn und über 60 Minuten (10 min Intervalle) nach Intervention bewertet, während die Schmerzempfindung, die Muskelschwellung, die maximale freiwillige isometrische Kontraktion (MVIC) und die vertikale Sprungleistung (VJP) 1, 24, 48, 72 h nach der Intervention gemessen wurden.

Ergebnisse:  $SmO_2$  war bei PBC an allen Testzeitpunkten geringer ( $P < 0,001$ ). CVC war bei der PBC-Gruppe ebenfalls signifikant niedriger zwischen 20 und 30 Minuten ( $P < 0,05$ ). Das Schmerzempfinden war bei PBC signifikant über die 72 h geringer im Vergleich zur CON-Gruppe ( $P < 0,05$ ). VJH war signifikant höher als CON ( $P = 0,01$ ). Hingegen wurde kein signifikanter Unterschied für die Muskelschwellung oder die MVIC gemessen.

Conclusio: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass CWI und PBC im Vergleich zu CON-Gruppe bessere Regenerationseffekte erzielten und deshalb im Trainingsprozess Anwendung finden sollten.

#### **11. Kojima et al., 2018**

Das Ziel der Studie war es, die Auswirkung einer Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) Behandlung nach dem Training auf die Appetitregulation und Energieaufnahme zu untersuchen. Dazu wurden zwölf männliche Athleten ( $20,5 \pm 1,1$  y) im Cross Over Design

untersucht. In beiden Studien führten die Teilnehmer maximal schnelle Sprints durch. Zehn Minuten nach Abschluss der Belastung wurden die Teilnehmer einer dreiminütigen WBC-Behandlung ( $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , WBC-Versuch) oder einer Ruhephase (CON-Versuch, passiv bei Raumtemperatur) unterzogen.

Blutproben wurden entnommen, um das Plasma-acylierte Ghrelin, das Serum-Leptin und andere metabolische Hormonkonzentrationen zu bestimmen. Atemgasparameter, Hauttemperatur und Bewertungen subjektiver Variablen wurden ebenfalls nach dem Training gemessen.

Ergebnisse: Obwohl sich die appetitregulierenden Hormone (acyliertes Ghrelin und Leptin) mit dem Training signifikant veränderten ( $P = 0,047$  für acyliertes Ghrelin und  $P < 0,001$  für Leptin) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Studien beobachtet. Die Energieaufnahme während des Buffetmahlzeittests war in der WBC-Studie signifikant höher ( $1371 \pm 481$  kcal) als in der CON-Studie ( $1106 \pm 452$  kcal,  $P = 0,007$ ). Die WBC wirkte sich signifikant positiv auf das Schmerzempfinden aus ( $P < 0,05$ ). Es wurden keine Unterschiede in Leistungsfähigkeit, Müdigkeitslevel, Laktat oder  $\text{VO}_{2\text{max}}$  dokumentiert.  $\text{VCO}_2$  (Kohlendioxidausstoß) ( $P = 0,007$ ), AMV ( $P = 0,016$ ) und Herzfrequenz ( $0,042$ ) waren signifikant niedriger in WBC-Gruppe.

Conclusio: Eine WBC im Anschluss an ein maximal intensives Training erhöhte die Energieaufnahme bei männlichen Athleten.

## **12. Krüger et al., 2019**

Ziel dieser Studie war es die akuten Auswirkungen einer einzelnen Sitzung WBC nach einem intensiven Lauftraining ( $5 \times 5$  min hochintensivem Laufen (HIR)) auf verschiedene Blutmarker, Muskelschäden und Stress zu untersuchen. Dazu wurden elf männliche Ausdauerathleten ( $25,9 \pm 2,1$  y) im Cross Over Design getestet und einmal einer dreiminütigen Kälteexposition (WBC bei  $-110^{\circ}\text{C}$ ) oder einer passiven Kontrollintervention (3 min sitzend bei Raumtemperatur  $21^{\circ}\text{C}$ ) ausgesetzt. Vor dem HIR und nach 60 Minuten Erholung wurde ein Rampentest durchgeführt. Zu sieben Zeitpunkten (bis zu 24 Stunden nach Training) wurden venöse Blutproben auf Serumspiegel von Interleukin 6 (IL-6), Interleukin 10 (IL-10), C-reaktivem Protein (CRP), löslichem interzellulärem Adhäsionsmolekül-1 (sICAM-1), Myoglobin, Cortisol und Testosteron erhoben.

Ergebnisse: Verglichen mit der CON-Bedingung gab es keine signifikanten Veränderungen in IL-6, IL-10, sICAM-1, Myoglobin, Cortisol oder Testosteron.

Conclusio: Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass WBC die postulierten physiologischen Mechanismen, wie Muskelentzündung und Muskelschäden nach Belastung nicht verbessert.

### **13. Krüger et al., 2015**

Das Ziel der Studie war es die Auswirkungen der WBC (3 min bei  $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) auf die akute Erholung und Schlüsselvariablen der Ausdauerleistung während hochintensiver Belastung in einer thermoneutralen Umgebung zu untersuchen. Elf männliche Ausdauersportler ( $25,9 \pm 2,1\text{ y}$ ) wurden zweimal in einem randomisierten Crossover-Design getestet, bei dem eine Stunde nach der Belastung ( $5 \times 5\text{ min}$  hochintensives Laufen (HIR)) entweder eine Stunde passive Erholung (CON) bei  $\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$  folgte oder eine dreiminütige Kälteexposition (WBC). Vor der HIR (R1) und nach der einstündigen Erholungsphase (R2) wurde ein Ramp-Test-Protokoll durchgeführt. Die Zeit bis zur Erschöpfung ( $T_{\text{lim}}$ ) wurde zusammen mit Veränderungen im Sauerstoffgehalt des Vastus lateralis (TSI),  $\text{VO}_2$ , Laktat aus dem Kapillarblut, Herzfrequenz (HF) und Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung (RPE) während des submaximalen und maximalen Laufens erhoben.

Ergebnisse: Die Zeit bis zur Erschöpfung zwischen R1 und R2 war bei der WBC geringer als bei CON ( $P < 0,05$ ). TSI war während R2 bei submaximalen und maximalen Laufen höher ( $P < 0,01$ ). Darüber hinaus waren  $\text{VO}_2$ , HR und RPE auf submaximalem Niveau von R2 nach der WBC niedriger als bei CON ( $P = 0,04$  bis  $< 0,01$ ). Es wurden keine signifikanten Unterschiede bei den Parametern ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ , HF, RPE) auf maximalem Niveau beobachtet.

Conclusio: Eine WBC verbessert die akute Erholung während hochintensiver Übungen unter thermoneutralen Bedingungen. Die Verbesserungen könnten durch eine bessere Sauerstoffversorgung der arbeitenden Muskeln sowie einer Verringerung der kardiovaskulären Belastung und einer erhöhten Arbeitsökonomie bei submaximalen Intensitäten gegeben sein.

### **14. Mila-Kierzenkowska et al., 2013**

Das Ziel der Studie war es die Auswirkungen einer einzelnen Ganzkörperkältetherapie (WBC), die vor einem submaximalen Training angewendet wurde, auf die Aktivität von antioxidativen Enzymen, die Konzentration von Lipidperoxidationsprodukten, den

gesamten oxidativen Status und den Zytokinspiegel im Blut zu analysieren. Getestet wurden 18 männliche Profi-Volleyballspieler ( $28,32 \pm 4,01$  y), die vor dem Training auf dem Fahrradergometer einmal einer Kälteexposition in der Kältekammer (3 min bei  $-130^{\circ}\text{C}$ ) ausgesetzt wurden und ein zweites Mal das Training ohne vorige Intervention durchführten (Crossover Design). Getestet wurde vor und unmittelbar nach der Belastung.

Ergebnisse: Die Aktivität der Katalase ( $P < 0,001$ ) war nach der WBC-Exposition niedriger als nach der Kontrollintervention ( $P < 0,001$ ). Nach der WBC war auch das Niveau von IL-6 und IL- $1\beta$  niedriger ( $P < 0,001$ ) als nach der CON-Intervention. Es wurde kein signifikanter Unterschied in TNF- $\alpha$  beobachtet.

Conclusio: Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Kryotherapie vor dem Training eine antioxidative und entzündungshemmende Wirkung hat.

### **15. Russell et al., 2017**

Das Ziel der Studie war es die Auswirkungen einer einzelnen WBC auf die physiologischen, Leistungs- und Wahrnehmungsreaktionen von 14 professionellen männlichen Fußballspielern (17 - 21 y) nach wiederholten Sprintübungen zu erforschen. In einem randomisierten Crossover-Design wurden die Teilnehmer 20 Minuten nach der Belastung entweder einer WBC (3 min bei  $-135^{\circ}\text{C}$ ) oder einer Kontrollintervention (CON: sitzend bei Raumtemperatur) ausgesetzt. Blut- und Speichelproben, Leistungsfähigkeit (CMJ) und die subjektive Wahrnehmung (Erholung und Muskelkater) wurden vor dem Training, sofort nach sowie zwei Stunden und 24 Stunden nach dem Training erhoben.

Ergebnisse: Im Vergleich zu CON wurde in der WBC-Gruppe eine stärkere Testosteronreaktion zwei und 24 Stunden nach dem Training beobachtet. Zwischen den Studien wurden keine Unterschiede in anderen Markern, wie Speichel (Cortisol und Testosteron/Cortisol), Blut (Laktat und Kreatinkinase), Leistungsfähigkeit (CMJ) und subjektive Wahrnehmungsmarker (Erholung oder Muskelkater) gefunden.

Conclusio: Eine einzelne WBC-Sitzung, die innerhalb von 20 Minuten nach wiederholten Sprintübungen durchgeführt wurde, erhöhte die Testosteronkonzentrationen für 24 Stunden, beeinflusste jedoch keine anderen leistungs-, physiologischen oder wahrnehmungsbezogenen Parameter.

## **16. Schaal et al., 2013**

Diese Studie untersuchte die Auswirkungen der WBC, Kontrastwassertherapie (CWT), aktiver Erholung (ACT) und der passiven Kontrollintervention (CON) auf die parasympathische Reaktivierung und die metabolischen Parameter der Erholung bei Elite-Synchronschwimmerinnen ( $20,3 \pm 1,8$  y). Die Teilnehmerinnen wurden im Crossover Design allen vier Interventionen, zwischen zwei simulierten Wettkampfballetten (B1 und B2) einmalig ausgesetzt. Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) wurde in Ruhe gemessen (PreB1), 5 min nach B1 (PostB1), vor B2 (PreB2) und 5 min nach B2 (PostB2).  $VO_{2max}$  wurde bei PostB1 und PostB2 gemessen, und die Laktatwerte wurden PostB1, PreB2 und PostB2 erhoben.

Ergebnisse: Während bei den anderen Interventionen (CWT, PAS, ACT) bei PreB2 die HRV auf den Ausgangswert zurückfiel, wurde bei der WBC ein zwei bis vierfacher Anstieg der vagusbezogenen HRV-Indizes ( $P = 0,012$ ), der  $VO_{2max}$  ( $P < 0,05$ ) und eine HF- Abnahme dokumentiert ( $P = 0,047$ ). Nach dem zweiten Tanz wurden keine signifikanten Unterschiede mehr in HRV und HF beschrieben. Die maximale Sauerstoffaufnahme war bei den WBC und ACT-Interventionen höher als in den anderen. Es wurde kein signifikanter Unterschied in den Laktatwerten für die WBC beobachtet. Der RPE war bei WBC höher als bei den anderen Maßnahmen.

Conclusio: Im Zusammenhang mit kurzfristiger Erholung führt die WBC zu einer starken parasympathischen Reaktivierung und zeigt eine ähnliche Wirksamkeit wie ACT auf die metabolischen Parameter der Erholung und der anschließenden körperlichen Leistungsfähigkeit.

## **17. Schaal et al., 2015**

Ziel der Studie war es herauszufinden, ob eine tägliche WBC-Sitzung über zwei Wochen leistungs- und schlafbezogenen Anzeichen einer Überanstrengung vorbeugen kann. Nach einer normalen Trainingswoche (BASE) absolvierten 10 Elite-Synchronschwimmerinnen ( $20,4 \pm 0,4$  y) im Crossover Design eine zweiwöchige Interventionsmethode (tägliche WBC für drei Minuten bei  $-10, -60, -110^{\circ}\text{C}$ ) und eine Kontrollintervention (2 Wochen ohne Regenerationsintervention). Schwimmzeit (400 m), Blutlaktat, Herzfrequenz, Speichel-Alpha-Amylase und Cortisol wurden erhoben. Zusätzlich trugen die Teilnehmerinnen jede Nacht einen Aktigraph am Handgelenk, um die Schlafmuster zu überwachen.

Ergebnisse: Schwimmgeschwindigkeit (400 m), Laktatwerte und Amylase nahmen in CON signifikant ab, während bei der WBC-Gruppe keine signifikanten Veränderungen der Geschwindigkeit festgestellt wurden. Es wurden keine Unterschiede in Herzfrequenz und Cortisol zwischen den Gruppen festgestellt. Die Schlafeffizienz bzw. Schlafdauer (Einschlafszeit, Aufwachzeit) wurde signifikant positiv in der WBC-Gruppe beeinflusst ( $P < 0,05$ ). Während RPE sich bei CON-Gruppe signifikant erhöhte ( $P < 0,05$ ), wurden in der WBC-Gruppe keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen festgestellt.

Conclusio: Die Anwendung der WBC trug dazu bei, die während der ITCON beobachteten Anzeichen einer funktionellen Überforderung zu mildern. Dazu gehören die reduzierte Schlafmenge, erhöhte Müdigkeit und eine beeinträchtigte körperliche Leistungsfähigkeit. Diese Ergebnisse sprechen für den täglichen Einsatz einer WBC, um Übertraining während intensiver Trainingsphasen und Wettkampfvorbereitungen zu vermeiden.

#### **18. Vieira et al., 2015**

Ziel der Studie war es die Auswirkung der WBC auf die Erholung und auf die Sprungleistung nach einem hoch intensiven Training (HIT) zu ergründen. Dazu wurden zwölf trainierte Männer ( $23,9 \pm 5,9$  y) im randomisierten Crossover Design zwei verschiedenen Bedingungen im Abstand von sieben Tagen ausgesetzt. Zum einen WBC (3 min WBC bei  $-110$  °C unmittelbar nach HIT) und zum anderen einer Kontrollgruppe (CON; keine Intervention nach HIE). Das HIT bestand einer Kniestreckungsbelastung aus sechs Sätzen mit jeweils zehn Wiederholungen (Kniestreckung bei  $60^\circ \cdot s^{-1}$  konzentrisch und  $180^\circ \cdot s^{-1}$  exzentrisch) auf einem isokinetischen Dynamometer. Der Sprungtest wurde vor dem Training und 30 Minuten nach den WBC- und CON-Bedingungen durchgeführt.

Ergebnisse: Es wurden keine signifikanten Unterschiede auf die Sprunghöhe, Sprungkraft oder Schnellkraft ergründet.

Conclusio: Die Ergebnisse zeigen, dass eine WBC-Sitzung nach einem HIE Training keine Auswirkungen auf die vertikale Sprungleistung hat. Eine WBC kann die Erholung der Muskelfunktion (abhängig vom Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus) in sehr kurzen Zeiträumen (30 min) nach einem hoch intensiven Training (HIT) nicht verbessern.

## **19. Wilson et al., 2018**

Diese Studie zielte darauf ab die Auswirkungen einer einmaligen Intervention der WBC oder einem Eisbad (CWI) auf die Regeneration zu untersuchen. Dazu wurden einunddreißig Ausdauerathleten (28-49 y) nach einem Marathon nach dem Zufallsprinzip einer CWI-, WBC- oder Placebo-Gruppe (Saft) zugeteilt. Die Auswirkungen von Muskelkater, Trainingsstress und Parameter der Muskelfunktion wurden vor dem Marathon sowie 24 und 48 Stunden nach dem Training aufgezeichnet.

Ergebnisse: Die WBC hatte im Vergleich zur CWI nach dem Marathon eine schädliche Wirkung auf die Muskelfunktion. Es wurden negative Auswirkungen auf den maximalen Drehmoment, MVIC und RSI (reactive strength index) erhoben. Positive Auswirkungen der Kälteintervention wurden auf die Schmerzempfindung und CRP nach 48 Stunden beobachtet. Negative Auswirkungen wurden nach der WBC-Intervention außerdem für CK, CRP (nach 24 h), IL-6 und TNF- $\alpha$  erhoben. Die WBC beeinflusste die Wahrnehmung von Trainingsstress im Vergleich zu CWI positiv.

Conclusio: Die Ergebnisse zeigen, dass die WBC im Vergleich zur CWI einen negativen Einfluss auf die Muskelfunktion und eine Reihe von Blutparametern hat, was der Annahme widerspricht, dass die WBC bei Marathonläufern eine sinnvolle Erholungsstrategie sein könnte.

## **20. Wilson et al., 2019**

Ziel dieser Studie war es den Einfluss einer Kaltwasserimmersion (CWI), einer Ganzkörper-Kryotherapie (WBC) oder einer Placebo-Intervention (PL) auf die Erholungsmarker nach einem Beinkrafttraining zu ergründen. Dafür wurden 24 Ausdauerathleten (18-35 y) zufällig entweder der CWI- (10 min bei 10 °C), der WBC- (3 und 4 min bei -85 °C) oder der PL-Gruppe zugeordnet. Schmerzwahrnehmung, Trainingsstress, Parameter der Muskelfunktion und Entzündungsmarker wurden vor und bis zu 72 Stunden nach dem Training getestet.

Ergebnisse: Es wurden keine signifikanten Ergebnisse bei DALDA, Muskelkater, MVIC, maximalen Drehmoment, RSI, Sprungkraft oder Blutmarker (CK, IL-6, CRP, TNF- $\alpha$ ) beobachtet. Die WBC wirkte sich negativ auf RDF (rate of force development) nach 24h aus aber positiv nach 48 h ( $P < 0,05$ ). Positive Auswirkungen der WBC wurden auch bei isometrischen Kniebeugen beschrieben ( $P < 0,05$ ).

Conclusio: Obwohl die WBC den Schmerz nach 24h abschwächte und die Spitzenkraft nach 48h im Vergleich zu CWI und PL positiv beeinflusste, waren die meisten erhobenen Daten nicht signifikant unterschiedlich.

## **21. Zembron-Lacny et al., 2020**

Die Studie hatte zum Ziel den Einfluss der WBC auf die Regeneration nach Belastung zu ergründen. Zwanzig Ringer (20-28 y) wurden randomisiert entweder der Interventionsgruppe (3 min bei  $-120^{\circ}\text{C}$ , zweimal täglich für sieben Tage) oder einer Kontrollgruppe (keine Intervention) zugeteilt. Blutproben wurden vor der ersten WBC-Sitzung und einen Tag nach der letzten Kryotherapie-Exposition entnommen.

Ergebnisse: WBC beeinflussten die indirekten Marker für Muskelschäden nicht, reduzierten jedoch signifikant ( $P = 0,001$ ) die Bildung reaktiver Sauerstoff- und Stickstoffspezies ( $\text{H}_2\text{O}_2$  und NO) sowie die Konzentrationen von Serum-Interleukin  $1\beta$  (IL- $1\beta$ ) und C-reaktivem Protein (CRP). Der CK-Anstieg war in der WBC-Gruppe signifikant niedriger ( $P = 0,02$ ), während für den TNF- $\alpha$  kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen erhoben wurde. Interessanterweise reduzierte die WBC signifikant die Niveaus der Wachstumsfaktoren, die extrazelluläre Signale sind und die Regeneration von Muskel-, Gefäß- und Nervensystem stimulieren. Der Wert  $\eta^2$  zeigte eine starke Wirkung der WBC auf die Spiegel der Wachstumsfaktoren, insbesondere IGF-1 und PDGFBB.

Conclusio: Die Studie zeigte, dass eine WBC die Verletzungs-Reparatur-Regenerationskaskade der Skelettmuskulatur abschwächt, wodurch die Regeneration der Skelettmuskulatur verzögert werden kann.

## **22. Ziemann et al., 2012**

Ziel der Studie war es die Auswirkung einer zweimal täglichen WBC in Kombination mit Training auf immunologische, hormonelle und hämatologische Reaktionen zu ergründen. Dazu wurden zwölf Tennisprofis (18-26 y) nach einem Trainingsprogramm mit moderater Intensität entweder einer WBC-Gruppe (zweimal am Tag für 3min bei  $-120^{\circ}\text{C}$ ) oder einer Kontrollgruppe (keine Intervention) zugeordnet. TNF- $\alpha$ , IL-6, Testosteron, Cortisol und Kreatinkinase, der Ruhestoffwechsel (Ruheumsatz) und die Leistungsfähigkeit wurden analysiert.

Ergebnisse: Das proinflammatorische TNF- $\alpha$  war signifikant niedriger ( $P = 0,002$ ) und das pleiotropes Zytokin (Interleukin 6) ( $P = 0,003$ ), Testosteron ( $P = 0,01$ ) und Cortisol

( $P=0,008$ ) waren in der WBC-Gruppe signifikant erhöht. Außerdem kam es zu einem Leukozytenanstieg ( $P = 0,002$ ), einer höheren Anzahl an Basophilen ( $P = 0,007$ ) und niedrigeren CK-Konzentration in der WBC-Gruppe ( $P = 0,01$ ). Es wurde ebenfalls eine bessere Schlageffektivität im Tennis ( $P = 0,02$ ) und eine niedrigere  $VO_{2max}$  ( $P = 0,002$ ) beschrieben, was darauf hindeutet, dass WBC einer mentalen Ermüdung entgegenwirken und die Erholung beschleunigen kann. Es wurde kein signifikanter Unterschied im Ruhestoffwechsel zwischen den Gruppen dokumentiert.

Conclusio: Die Anwendung der Ganzkörper-Kryostimulation in Verbindung mit einem Training mittlerer Intensität war für den Erholungsprozess effektiver als ohne Regenerationsmaßnahme. WBC zweimal täglich verbesserte das Zytokinprofil, was zu einer Abnahme des  $TNF-\alpha$  und einem Anstieg von IL-6 führte.

## 4. Ergebnisse

Im Anschluss werden nun die Ergebnisse der Studien zusammengefasst.

### 4.1. Physiologische Komponenten

#### Maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ )

Fünf Studien erfassten die Auswirkungen der WBC auf die  $VO_{2max}$ . Zwei Studien konnten keine Unterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe beobachten, weder bei Intervention über einen längeren Zeitraum (Broatch et al., 2019/ 3x pro Woche/ für 4 Wochen), noch bei einer einmaligen Intervention (Kojima et al., 2018). Krüger et al. (2015) konnten bei einmaliger Intervention ebenfalls keine Unterschiede nach maximaler Belastung finden, jedoch verringerte sich die  $VO_{2max}$  auf submaximalen Level signifikant ( $P=0.02$ ). Ziemann et al. (2012) konnten nach fünftägiger WBC- Intervention ebenfalls signifikant niedrigere Werte als bei der CON-Gruppe dokumentieren ( $P < 0,002$ ), während Schaal et al. (2013), bei Intervention zwischen zwei Wettkämpfen signifikant höhere Werte ermittelten ( $P < 0,05$ ). Die Ergebnisse sind in der nachstehenden Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Auswirkungen von WBC auf  $VO_{2max}$

Studie	Auswirkung auf $VO_{2max}$	Interventionen	Belastung	Getestet
Broatch et al., 2019	Keine Auswirkung	3x pro Woche – 4 Wochen	90min HIT Cycling	Baseline, 48h posttest
Kojima et al., 2018	Keine Auswirkung	1x	Maximalsprint Intervalle Cycling	Baseline, 30min posttest
Krüger et al., 2015	Keine Auswirkung bei maximaler Belastung Verringerte $VO_{2max}$ bei submaximaler Belastung	1x	5x5min HIT am Laufband	Baseline, 1h, 4h, 24h
Schaal et al., 2013	Erhöhte $VO_{2max}$	1x	Submaximale Schwimmintervalle	Baseline, 1h nach dem ersten Wettkampf, 20min nach dem zweiten Wettkampf
Ziemann et al., 2012	Niedrigere $VO_{2max}$	Fünftägig – 2x am Tag	3 moderate Trainings am Tag	Baseline, 1h, 48h

## **Herzfrequenz (HF) und Herzratenvariabilität (HRV)**

Die Herzfrequenz wurde entweder mit einem Pulsgurt oder am Handgelenk gemessen. Schaal et al. (2015) konnten keine Unterschiede nach 14-tägiger Intervention auf die HF beobachten. Ebenso konnten Krüger et al. (2015) (einmalige Intervention) auf maximalen Level keine signifikante Veränderung feststellen konnten, jedoch auf submaximalen Level (niedrigere HF nach Intervention,  $P < 0,01$ ). Schaal et al. (2013) und Kojima et al. (2018) konnten ebenfalls bei einmaliger Intervention niedrigere HF-Werte nach einer WBC erfassen (beide  $P < 0,05$ ).

Schaal et al. (2013) konnten bei einmaliger WBC-Applikation einen signifikanten Anstieg der HRV nach einer WBC beobachten ( $P = 0,012$ ).

Douzi et al. (2019) untersuchten die HRV nach einmaliger WBC in Bezug auf die Schlafstadien. Auf die gesamte Schlafnacht verteilt, wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. Auf die verschiedenen Stadien des Schlafes bezogen, wurde jedoch ein signifikanter Unterschied in der SWS (slow wave sleep/ ersten 10 min) Phase beobachtet ( $P < 0,05$ ). Es kam zu einer erhöhten parasympathischen Aktivität (höhere HF-Leistung) und eine Abnahme der sympathischen Aktivität (Abnahme des LF/HF Verhältnisses).

## **Körpertemperatur**

Die Körpertemperatur wurde von sechs der analysierten Studien erfasst und wurde meist an mehreren Körperstellen gemessen. Während sich die Körpertemperatur nach Belastung in der Kontrollgruppe leicht erhöhte, kam es bei allen WBC-Gruppen zu signifikant niedrigeren Körpertemperaturen, vor allem in den ersten  $10 \pm 5$  min nach der Kälteexposition (Douzi et al., Hohenauer et al., Haq et al., Kojima et al., Vieira et al., Krüger et al., 2015). In der Studie von Douzi et al. (2019) wurden nach der WBC-Intervention Hauttemperaturen am Oberschenkel von  $12,4 \text{ °C} \pm 1,6 \text{ °C}$  gemessen, bei Kojima et al. (2018) wurden sogar Werte von  $7.1 \pm 14.2 \text{ °C}$  erreicht. Die nachstehende Abbildung 11 zeigt die Temperatursenkung bei einer der genannten Studien.

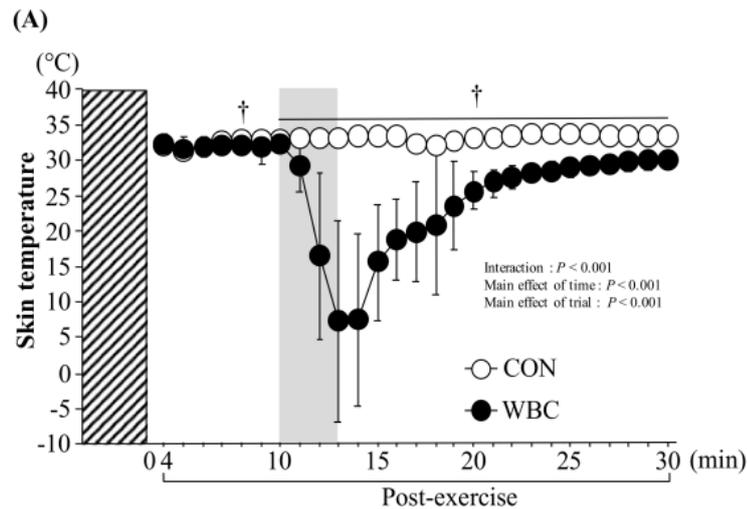


Abbildung 9: Körpertemperatur vor, während (grauer Balken) und nach einer WBC (schwarz) und CON (weiß) Intervention (Kojima et al., 2018: 5)

### Muskelschwellung und Muskelsauerstoffsättigung ( $SmO_2$ )

Die Muskelschwellung wurde mit Hilfe eines Ultraschallgeräts erhoben. Hohenauer et al. (2019) konnten keinen signifikanten Unterschied in Muskelschwellung nach einmaliger WBC-Intervention ein bis 72 Stunden nach Belastung beobachten, Ferreira-Junior et al. (2015) dokumentierten hingegen, dass die Muskeldicke bei der Kontrollgruppe nach 24 Stunden zunahm ( $P < 0,001$ ), während sie sich in der PBC-Gruppe während der gesamten 96 h nicht veränderte. Nach 24 h und 96 h waren die Werte für die Muskelschwellung bei der Kontrollgruppe immer noch signifikant höher als bei WBC-Gruppe ( $P < 0,05$ ).

Hohenauer et al. (2019) konnten nach 5x20reps Drop Jumps signifikant niedrigere  $SmO_2$ -Werte eine Stunde nach WBC-Intervention beobachten ( $P < 0,001$ ), während Krüger et al. (2015) sofort nach einmaliger WBC und während der folgenden maximalen und submaximalen Belastung am Laufband eine höhere  $SmO_2$  Sättigung beobachten konnten ( $P < 0,01$ ).

### Weitere Parameter ( $VCO_2$ , VE, MAP, RMR)

Es wurden keine signifikanten Unterschiede nach Intervention für den mittleren arteriellen Blutdruck (MAP) (Hohenauer et al., 2019) oder die ruhende Stoffwechselrate (RMR) erhoben (Ziemann et al., 2012). Kojima et al. (2018) konnten signifikant niedrigere Werte bei  $VCO_2$  und Atemzeitvolumen (VE) ( $P < 0,05$ ) nach einmaliger WBC-Applikation beobachten.

## Laktat

Kojima et al. (2018) und Russel et al. (2016) konnten in ihrer Studie mit einmaliger WBC-Intervention nach dem Training keine signifikanten Unterschiede in der Laktatakkumulation gleich bzw. 24 Stunden nach einer Belastung beobachten. Ebenfalls konnten nach täglicher Intervention über sechs Tage bzw. über fünf Tage (2x täglich) keine Veränderungen der Laktatwerte zwischen der WBC- und der CON-Gruppe dokumentiert werden (Fonda & Sarabon, 2013; Ziemann et al., 2012). Krüger et al. (2015) (einmalige WBC) und Schaal et al. (2015) (tägliche WBC für 14 Tage) dokumentierten signifikant höhere Laktatwerte im Blut ( $P < 0,05$ ) nach WBC-Intervention sowie auch Schaal et al. (2013), wobei die Unterschiede in ihrer Studie nicht signifikant waren ( $P = 0.06$ ). Die Tabelle 5 zeigt die Zusammenfassung der erhobenen Ergebnisse.

Tabelle 5: Auswirkungen von WBC auf die Laktatkonzentration

Studie	Auswirkung auf Laktat	Interventionen	Belastung	Getestet
Fonda & Sarabon, 2013	Keine Auswirkung	sechstägig	DJ, Beinkrafttraining	Baseline, 1h, 24h, 48h, 72, 96h
Kojima et al., 2018	Keine Auswirkung	1x	Maximalsprint Intervalle Cycling	Baseline, 30min posttest
Krüger et al., 2015	Erhöhte Laktatwerte	1x	5x5min HIT am Laufband	Baseline, 1h, 4h, 24h
Schaal et al., 2015	Erhöhte Laktatwerte	14tägig	Submaximale Schwimmintervalle, max. Sprints	Baseline, 1h
Schaal et al., 2013	Erhöhte Laktatwerte (nicht signifikant)	1x	Submaximale Schwimmintervalle	Baseline, 1h nach erstem Wettkampf, 20min nach zweitem Wettkampf
Russel et al., 2016	Keine Auswirkung	1x	Sprintraining	Baseline, 0h, 2h, 24h
Ziemann et al., 2012	Keine Auswirkung	Fünftägig – 2x am Tag	3 moderate Trainings am Tag	Baseline, 1h, 48h

## 4.2. Blutmarker

Blutproben wurden entweder durch Venenpunktion, an der Fingerspitze oder am Ohrläppchen mit einen Kapillarröhrchen gesammelt. Folgende Blutwerte wurden erhoben:

### Kreatinkinase (CK)

Die CK-Aktivität wurde bei sieben der analysierten Studien erhoben. Dabei konnten Haq et al. (2021), Russell et al. (2017), Wilson et al. (2019) keinen Unterschied zwischen der CK-Aktivität zwischen Interventionsgruppe und Kontrollgruppe nach einmaliger WBC-

Applikation feststellen. Ebenfalls konnten Fonda und Sarabon (2013) nach sechs täglichen WBC-Interventionen nach Belastung keinen signifikanten Unterschied in der CK-Konzentration dokumentieren. Chaoyi et al. (2020) (einmalige Intervention) konnten nach verschiedenen Interventionsmaßnahmen positive Effekte nach der WBC-Applikation auf die CK-Aktivität feststellen, denn diese nahm nach der WBC-Applikation verglichen mit den anderen Maßnahmen (CON, CWI, CWT) am schnellsten ab ( $P = 0,03$ ). Die CK-Werte gingen nur nach der WBC-Intervention nach 48 h Posttraining wieder den Ausgangswerten. Auch Ziemann et al. (2012) konnten über mehrere Tage (5 Tage – 2x täglich) einen CK-Konzentrationsabfall beobachten, während die Werte in der CON-Gruppe leicht anstiegen ( $P = 0,01$ ). Zembron-Lancy et al. (2020) dokumentierten einen signifikant geringeren Anstieg der CK-Aktivität nach sieben Tagen Intervention (2x täglich) im Gegensatz zur Kontrollgruppe ( $P = 0,02$ ). Wilson et al. (2018) beobachteten hingegen sich negativ auswirkende höhere CK-Wertes 24 Stunden nach einem Marathon.

Tabelle 6: Auswirkungen von WBC auf die CK-Konzentration

Studie	Auswirkung auf CK	Interventionen	Belastung	Getestet
Fonda & Sarabon, 2013	Keine Auswirkung	sechstägig	DJ, Beinkrafttraining	Baseline, 1h, 24h, 48h, 72, 96h
Chaoyi et al., 2020	Niedrigerer CK-Wert	1x	90min HIT-Laufband	Baseline, 0h, 24h, 48h, 72h
Haq et al., 2021	Keine Auswirkung	1x	30min Berglauf	Baseline, 1h, 24h
Russel et al., 2016	Keine Auswirkung	1x	Sprinttraining	Baseline, 0h, 2h, 24h
Wilson et al., 2018	Negative Auswirkungen (CK höher)	1x	Marathon	Baseline, 24h, 48h
Wilson et al., 2019	Keine Auswirkung	1x	Beinkrafttraining	Baseline, 0h, 1h, 2h, 24h, 48h, 72h
Zembron-Lancy et al., 2020	Niedrigerer CK-Wert	14-tägig	Trainingscamp (Wrestling)	Baseline, 24h
Ziemann et al., 2012	Niedrigerer CK-Wert	Fünftägig – 2x am Tag	3 moderate Tennis Trainings am Tag	Baseline, 1h, 48h

### Myoglobin (Mb)

Weder nach zweimal täglicher WBC-Intervention über sieben Tage (Zembron-Lancy et al., 2020), noch bei einmaliger Intervention (Krüger et al., 2019) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der WBC- und der CON-Gruppe für Mb-Werte beobachtet werden.

## C-reaktives Protein (CRP)

Drei Studien untersuchten die Auswirkungen der WBC auf das CRP nach einmaliger Kälteapplikation und fanden unterschiedlichen Ergebnissen. Wilson et al. (2019) beobachteten erhöhte CRP-Werte im Vergleich zu den Kontrollinterventionen (CON, CWI), während Chaoyi et al. (2020) signifikant verringerte CRP-Aktivität nach WBC aufzeigten ( $P < 0,05$ ) (beide Auswertungen 0-72 h nach Belastung). Krüger et al. (2015) hingegen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interventionen auf die CRP-Werte bis 24h nach Belastung beobachten. Die Abbildung 11 zeigt den CRP-Anstieg der unterschiedlichen Kälteapplikationen.

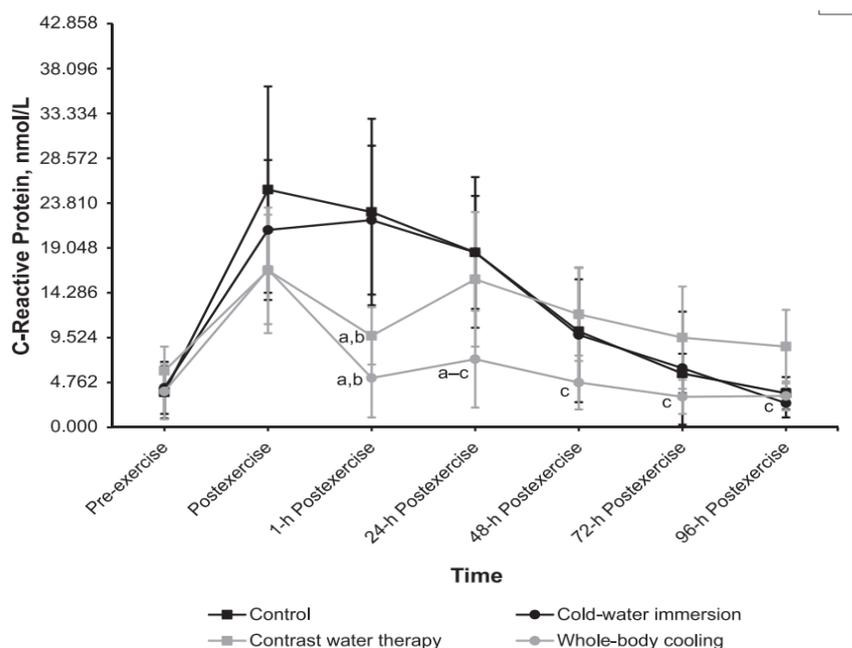


Abbildung 102: CRP nach WBC, CWT, CWI, CON (Chaoyi et al., 2020: 333)

## Zytokine

Für das Interleukin 6 (IL-6) konnten Krüger et al. (2019) und Wilson et al. (2019) nach einmaliger WBC-Applikation keine signifikanten Unterschiede zwischen WBC- und CON-Gruppe feststellen. Mila-Kierzenkowska et al. (2013) konnten bei einer WBC-Intervention vor dem Training, zweimal niedrigere IL-6 Werte nach der Belastung ( $P < 0,001$ ) beobachten, während Ziemann et al. (2012) bei zweimal täglicher über fünf Tage dauernde WBC-Intervention eine Erhöhung von 23% der IL-6 Konzentration in der WBC-Gruppe beobachtete, während es bei der CON-Gruppe zu einem Abfall (7,7%) der Konzentration kam ( $P = 0,003$ ).

Bei dem Interleukin-10 konnte kein signifikanter Unterschied bei einmaliger Intervention festgestellt werden (Krüger et al. 2019). Mila-Kierzenkowska et al. (2013) konnten in ihrer Studie (WBC vor dem Training) zweimal niedrigere Interleukin-1 $\beta$  Werte für die WBC-Gruppe feststellen ( $P < 0,001$ ).

Für den multifunktionalen Signalstoff des Immunsystems, den Tumor necrosis factor  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), wurde bei einmaliger Intervention vor bzw. nach dem Training kein signifikanter Unterschied festgestellt (Mila Kierzenkowska et al., 2013; Wilson et al., 2019). Ziemann et al. (2012) dokumentierten hingegen, dass es nach zweimal täglicher Intervention für fünf Tage zu einem stärkeren Abfall des TNF- $\alpha$  in der WBC-Gruppe als in der CON-Gruppe ( $P = 0,002$ ) kam. Wilson et al. 2018 konnten 24 Stunden nach Belastung einen negativen, jedoch nicht signifikanten Zusammenhang zwischen TNF- $\alpha$  und WBC-Intervention beobachten. Die Tabelle 7 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnissen zu den verschiedenen Zytokinen.

Tabelle 7: Auswirkungen von WBC auf Zytokine

Studie	Auswirkung auf Zytokine	Interventionen	Belastung	Getestet
Krüger et al., 2019	Keine Auswirkung auf IL-6 & IL-10	1x	5x5min HIT Laufband	am Baseline, 1h, 4h, 24h
Mila-Kierzenkowska et al., 2013	Niedrigere IL-6 & IL-1 $\beta$ Keine Auswirkung auf TNF- $\alpha$	1x VOR Belastung	Submaximal Fahrradergometer	am Baseline, 1h
Wilson et al., 2018	Erhöhung TNF- $\alpha$ (nicht signifikant)	1x	Marathon	Baseline, 24, 48h
Wilson et al., 2019	Keine Auswirkung auf IL-6 & TNF- $\alpha$	1x	Beinkrafttraining	Baseline, 0h, 1h, 2h, 24h, 48h, 72h
Ziemann et al., 2012	Erhöhung IL-6 Niedrigerer TNF- $\alpha$	Fünftägig – 2x am Tag	3 moderate Trainings am Tag	Baseline, 1h, 48h

## Leukozyten

Während Krüger et al. 2019 bei einmaliger WBC-Applikation keinen Unterschied in der Leukozytenzahl feststellen konnten, beobachteten Ziemann et al. (2012) einen signifikant ( $P = 0,002$ ) höheren Anstieg in der WBC-Gruppe bei zweimal täglicher WBC über fünf Tage.

## Weitere Blutmarker

Es wurden keine signifikanten Unterschiede bei den Blutmarkern CD, OS, TBARS, SOD, GPx nach einer WBC-Applikation vor der Belastung beobachtet (Mila Kierzenkowska et al., 2013). Ebenfalls wurden keine Unterschiede in der Erythrozytenanzahl dokumentiert

(Ziemann et al., 2012). Es wurden signifikant niedrigere Werte bei der Katalase-Aktivität<sup>17</sup> (CAT) nach einer einmaligen WBC-Applikation (einmal WBC vor Belastung) ( $P < 0,001$ ) (Mila Kierzenkowska et al., 2013) sowie nach einer zweimal täglichen (für 7 Tage) WBC-Intervention ( $P < 0,001$ ) (Zembron-Lancy et al., 2020), als in der jeweiligen Kontrollgruppe beobachtet.

### **Hormone**

Es wurden in drei Studien die Auswirkungen der WBC auf die Cortisol- und Testosteronwerte und deren antagonistisches Verhältnis erhoben. Krüger et al. (2019) konnten in ihrer Studie keinen signifikanten Unterschied nach einmaliger Kälteintervention zwischen diesen drei Parameter beobachten. Ebenfalls konnten Russel et al. (2016) (einmalige WBC-Applikation) keine signifikanten Unterschiede in Cortisol und dem Testosteron/Cortisol Verhältnisses dokumentieren, jedoch eine signifikante Testosteronerhöhung zwei bzw. 24 h nach der Intervention ( $P = 0,001$ ). Ziemann et al. (2012) konnten bei zweimal täglicher Intervention über fünf Tage signifikante Erhöhungen in der Testosteron- und Cortisolkonzentration feststellen ( $P > 0,01$ ), während Schaal et al. (2015) nach 14 Tage WBC-Applikation keine signifikanten Unterschiede bei den Cortisolwerten und der  $\alpha$ -amylase feststellen konnten. Broatch et al. (2019) konnten bei dreimal wöchentlicher Intervention über vier Wochen ebenfalls keine signifikante Veränderung in Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol-Konzentrationen beobachten. Die Abbildung 13 zeigt die Veränderungen der Testosteron-, Cortisolwerte und Testosteron/Cortisol-Relation nach einer WBC.

---

<sup>17</sup> Enzym, das die Reaktion von Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff katalysiert

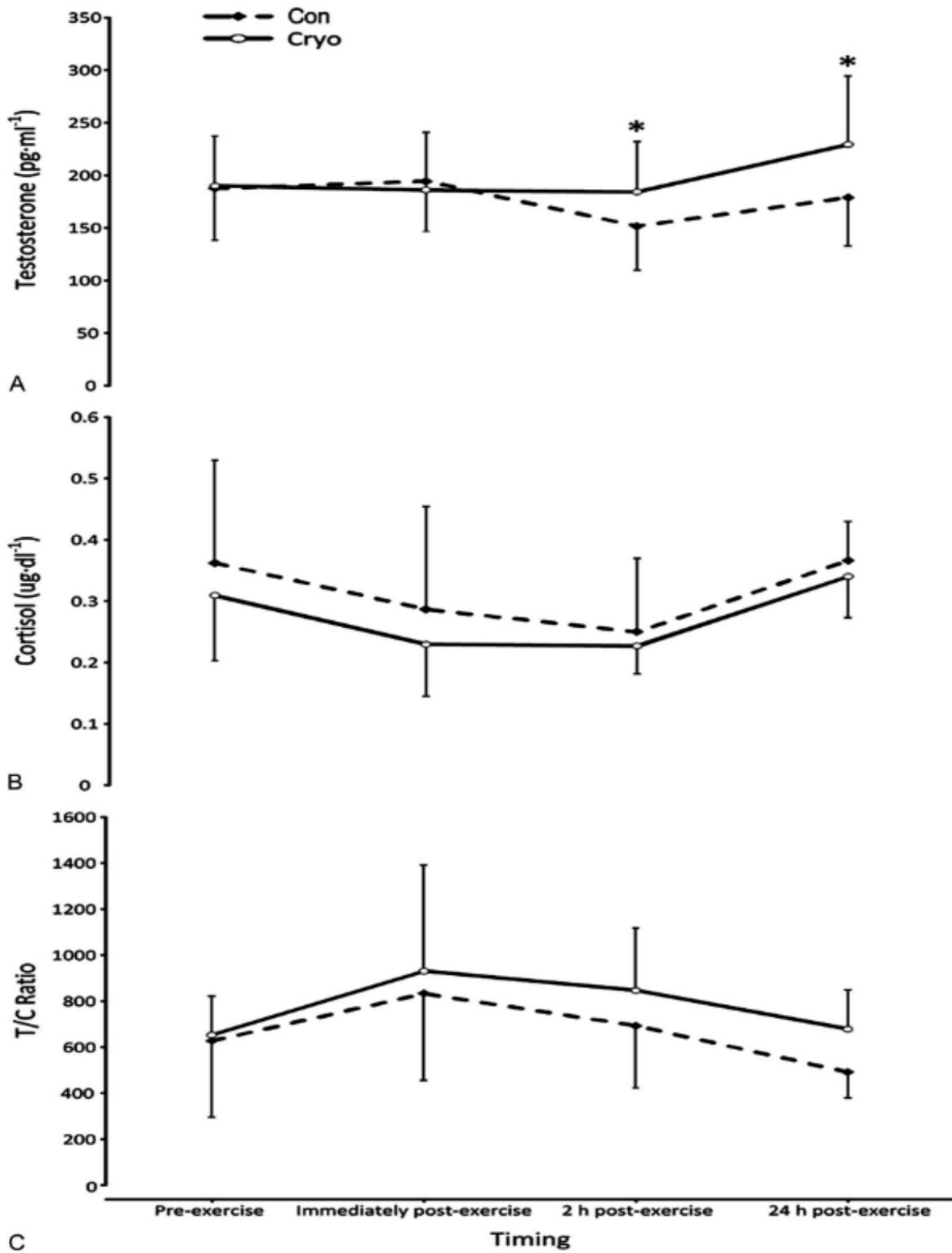


Abbildung 11: Auswirkungen von WBC auf Testosteron, Cortisol und dessen Verhältnis (Russel et al., 2016: 418)

### 4.3. Leistungsfähigkeit

Verschiedene Parameter wurden erhoben, um die Auswirkungen der WBC auf die Leistungsfähigkeit festzustellen.

#### **Maximalleistung**

Es wurden keine signifikanten Unterschiede nach mehreren WBC-Applikationen in Spitzenleistungen am Fahrradergometer (3x die Woche über 4 Wochen) (Broatch et al., 2019), weder nach einmaliger WBC bei maximalen Sprints (Costello et al., 2012; Russel et al., 2017) oder der gesamten bzw. durchschnittlichen Leistung (totalwork, average power) zwischen WBC- und Kontrollgruppe dokumentiert (Ferreira-Junior et al., 2014a; Kojima et al., 2018). Ferreira-Junior et al. (2014b) konnten bei konzentrischer Belastung ebenfalls keinen Unterschied auf die Gesamtleistung beobachten, während sich die WBC-Intervention signifikant positiv auf die Gesamtleistung bei exzentrischen Belastungen auswirkte ( $P < 0,05$ ). Ziemann et al. (2012) konnten eine signifikant bessere Schlageffizienz bei Tennisspielern nach mehrtägigen WBC-Applikation (2x am Tag für 5 Tage) beobachten ( $P = 0,02$ ). Schaal et al. (2015) dokumentierten, dass während bei dem 400m Sprint im Schwimmen die Geschwindigkeit über die Trainingstage bei der Kontrollgruppe signifikant abnahm ( $P < 0,05$ ), bei der WBC-Gruppe (täglich über 14 Tage) keine signifikanten Unterschiede zu beobachten waren.

Bei der MVIC konnten im Großteil der Studien nach einmaliger WBC-Applikation keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Costello et al., 2012; Hohenauer et al., 2020; Wilson et al., 2019). Wilson et al. (2018) beobachteten eine negative Korrelation zwischen MVIC und WBC nach einem Marathon. Eine positive, jedoch nicht signifikante Korrelation fanden Wilson et al. (2019) bei der isometrischen Kniebeugenleistung.

Chaoyi et al. (2020) konnten gleich nach einmaliger WBC-Intervention und Hohenauer et al. (2020) unmittelbar nach und 24 Stunden nach Belastung signifikant höhere Sprunghöhen (VJH) bei den Sportler/innen beobachten als in den Kontrollgruppen ( $P < 0,05$ ), während Vieira et al. (2015) und Wilson et al. (2019) keinen Unterschied nach einmaliger WBC-Intervention auf die VJH feststellen konnten. Bei der Sprungkraft konnten Fonda und Sarabon (2013) nach einer sechstägigen WBC-Applikation positive Auswirkungen der Kälte auf die Startsprungkraft eine Stunde nach der Belastung beobachten ( $P < 0,001$ ), jedoch keinen signifikanten Unterschied in Sprunghöhe, Maximalkraft und -leistung. Vieira et al. (2015) konnten nach einmaliger Intervention ebenfalls keine signifikanten Auswirkungen

auf die Sprungkraft und die Schnellkraft gleich nach der Belastung beschreiben. Wilson et al. (2019) beobachteten nach einem intensiven Beinkrafttraining eine negative Korrelation zwischen der WBC und die RDF<sup>18</sup> nach 24 Stunden, die jedoch nach 48 h positiv zwischen den zwei Bedingungen korrelierte. Fonda und Sarabon (2013) konnten ebenfalls positive Effekte der WBC auf die RDF 24 Stunden nach der Belastung feststellen (P = 0,017). Negative Korrelationen wurden zwischen der WBC und dem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) nach einem Marathon über die gesamte Zeitspanne (0-48 h) beobachtet (Wilson et al. 2018). Tabelle 8 fasst die erhobenen Ergebnisse zu den verschiedenen Komponenten der Maximalleistung zusammen.

Tabelle 8: Auswirkungen der WBC auf die Maximalleistung

Studie	Auswirkung Maximalleistung	Interventionen	Belastung	Getestet
Fonda & Sarabon 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positiv auf Startsprungkraft</li> <li>• Keine Auswirkung auf VJH, Maximalkraft/-leistung</li> <li>• Positiv auf RTD (ab 24h-48)</li> <li>• Positiv max. Drehmoment</li> </ul>	sechstägig	DJ, Beinkrafttraining	Baseline, 1h, 24h, 48h, 72, 96h
Broatch et al., 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Auswirkung auf max. Sprints</li> </ul>	3x pro Woche – 4 Wochen	90min HIT Cycling	Baseline, 48h posttest
Costello et al., 2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Auswirkung auf max. Sprints und MVIC</li> </ul>	1x	Sprinttest Fahrradergometer, Beinkrafttraining	Baseline, 24, 48, 72, 96h
Chaoyi et al., 2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere VJH</li> </ul>	1x	90min HIT-Laufband	Baseline, 0h, 24h, 48h, 72h
Ferreira-Junior et al., 2014a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Auswirkung auf Leistungsfähigkeit (gesamt, durchschnittlich)</li> <li>• Keine Auswirkung auf max. Drehmoment</li> </ul>	1x	Krafttraining Arme	Baseline, 10min
Ferreira-Junior et al., 2014b	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer maximale Drehmoment und Gesamtleistung (exzentrisch)</li> <li>• Keine Auswirkung auf max. Drehmoment und Gesamtleistung (konzentrisch)</li> </ul>	1x	Beinkrafttraining	Baseline, 40min
Ferreira-Junior et al., 2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer max. Drehmoment</li> </ul>	1x	Sprungtraining (DJ)	Baseline, 24, 48, 72, and 96 h
Haq et al., 2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer max. Drehmoment</li> </ul>	1x	Berlauf (30min)	Baseline, 0h, 1h, 24h
Hohenauer et al. (2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Auswirkung auf MVIC</li> <li>• Höhere VJH</li> </ul>	1x	Sprungtraining (DJ)	Baseline, 0h, 1h, 24h, 48, 72h

<sup>18</sup> Die Kraftentwicklungsrate (RFD) ist ein Maß für die Explosivkraft bzw. wie schnell ein Athlet/eine Athletin Kraft entwickeln kann. Es hat sich gezeigt, dass Sportler mit höheren Kraftentwicklungsraten bei zahlreichen körperlichen Leistungstests besser abschneiden (Walker 2016).

<i>Kojima et al. 2018</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Auswirkung auf Leistungsfähigkeit</li> </ul>	1x	Maximalsprint Intervalle Cycling	Baseline, 30min posttest
<i>Russel et al. 2016</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Auswirkung auf max. Sprints</li> </ul>	1x	Sprinttraining (Fußball)	Baseline, 0h, 2h, 24h
<i>Schaal et al. 2015</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Positiv auf Sprintleistung (Schwimmen)</li> </ul>	14tägig	Submaximale Schwimmintervalle, max. 400m Sprints	Baseline, nach 14 Tagen
<i>Vieira et al. 2015</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Auswirkung auf VJH, Sprungkraft, Schnellkraft</li> </ul>	1x	Beinkrafttraining	Baseline, 30min
<i>Wilson et al. 2019</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Auswirkung auf MVIC, VJH</li> <li>Isometrische Squatleistung höher</li> <li>Niedrigere RFD (24h)</li> <li>Höhere RFD (48h)</li> <li>Keine Auswirkung auf max. Drehmoment</li> </ul>	1x	Beinkrafttraining	Baseline, 0h, 1h, 2h, 24h, 48h, 72h
<i>Wilson et al. 2018</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Negative Auswirkung auf MVIC, DVZ</li> </ul>	1x	Marathon	Baseline, 24, 48h
<i>Ziemann et al. 2012</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bessere Schlageffizienz (Tennis)</li> </ul>	Fünftägig – 2x am Tag	3 moderate Trainings am Tag	Baseline, 1h, 48h

## Maximales Drehmoment

Es wurden signifikante positive Effekte auf dem maximalen Drehmoment bei exzentrischen Belastungen der Beinmuskulatur ( $P = 0,01$ ) gleich nach einer WBC-Intervention beobachtet (Ferreira-Junior et al. 2014b). Ebenfalls konnten Ferreira-Junior et al. (2014b) beobachten, dass nach einer WBC-Applikation das maximale Drehmoment im Kniegelenk nach 96 Stunden wieder bei den Ausgangswerten lag, während in der Kontrollgruppe noch niedrigere Werte dokumentiert wurden. Der max. Drehmoment war bei dieser Studie bei der WBC-Gruppe bei 72 h – 96 h signifikant höher als bei der Kontrollgruppe ( $P < 0,05$ ). Auch Haq et al. (2021) beobachteten, dass der max. Drehmoment nach einmaliger WBC-Intervention 24 Stunden nach Belastung weniger stark abnahm als in der CON-Gruppe. Fonda und Sarabon (2013) konnten ebenfalls nach sechstägiger WBC ein signifikant höheres Drehmoment ( $P < 0,05$ ) nach einem Beinkrafttraining beobachten.

Zwei Studien mit einmaliger WBC-Intervention konnten keine Auswirkungen auf den max. Drehmoment nach Beinkrafttraining bzw. Armkrafttraining beobachten (Ferreira-Junior et al., 2014a; Wilson et al., 2019). Wilson et al. (2018) konnten hingegen eine negative Korrelation zwischen maximales Drehmoment (Knie) und einmaliger WBC-Intervention nach einem Marathonlauf beobachten.

### **Zeit bis zur Erschöpfung ( $T_{lim}$ )**

Die Zeit bis zur Erschöpfung bei maximalen Sprints am Laufband war nach einmaliger WBC-Intervention besser als bei der Kontrollgruppe ( $P < 0,05$ ) (Krüger et al., 2015), während Broatch et al. (2019) keine Unterschiede bei der  $T_{lim}$  während des HIT Cycling Trainings über mehrtägige WBC-Applikationen (3x die Woche/4Wochen) feststellen konnten.

### **Schlaf**

Es wurden vor allem positive Auswirkungen der WBC auf die Schlafzeit beobachtet. Bei Douzi et al. (2019) konnten nach einmaliger WBC-Applikation sowohl die objektive Schlafzeit (Bewegungen während des Schlafs) ( $P = 0,01$ ), als auch die subjektiv empfundene Schlafqualität und Schlafeffizienz (beide  $P = 0,05$ ) verbessert werden. Eine weitere Studie von Schaal et al. (2015), bei denen eine 14-tägige WBC-Intervention durchgeführt wurde, konnten ebenfalls positive Auswirkungen auf Aufstehzeit, Schlafdauer, Schlaflatenz und Einschlafzeit beobachten. Während sich bei der Kontrollgruppe die genannten Faktoren verringerten ( $P < 0,05$ ), wurden in der WBC-Gruppe keine signifikanten Veränderungen zu den Grundwerten dokumentiert.

Keine Unterschiede in Schlafenszeit, Aufstehzeit, Zeit im Bett, Schlafdauer, Schlaflatenz, Schlafeffizienz oder Bewegungszeit wurden bei der Studie Broatch et al. (2019) mit vierwöchiger Intervention (3x die Woche WBC) beschrieben, genauso wie Schaal et al. (2015) nach einer 14-tägigen WBC-Intervention keine signifikanten Auswirkungen auf die subjektiv empfundene Schlafqualität beobachten konnten.

### **Muskelkater**

In den analysierten Studien wurden verschiedene Ergebnisse zur subjektiven Schmerzempfindung bzw. zum Muskelkater beschrieben. Die Werte wurden mit Hilfe einer visuellen Analogskala (VAS) erhoben. Die VAS ist ein Verfahren bei dem der Patient/die Patientin seine/ihre subjektiven Empfindungen auf einer Skala von 0 (= keine Empfindung) bis 10 (= am stärksten vorstellbare Empfindung) einschätzt. Abbildung 14 zeigt eine solche VAS-Skala.



Abbildung 14: Beispiel einer VAS-Schmerzskala (Schroth, 2022)

Nach einem Beinkrafttraining konnten Fonda und Sarabon (2013) positive Auswirkungen nach einer sechstägiger WBC-Intervention auf die Schmerzempfindung in Ruhe und bei Aktivität (Kniebeugen) eine bis 72 Stunden nach Belastung beobachten. Vier weitere Studien mit einmaliger WBC-Applikation konnten ebenfalls signifikant positive Effekte über mehrere Tage beschreiben (alle  $P < 0,05$ ) (Hohenauer et al., 2020: positive Effekte 1-72 h nach Belastung; Kojima et al., 2018: positive Effekte 30 min bis 2 h nach Belastung; Chaoyi et al., 2020: positive Effekte 1-96 h nach Belastung (Abb.13); Douzi et al., 2019: positive Effekte am Folgetag). Wilson et al. (2018) konnten nur 48 Stunden nach Marathon eine positive Korrelation zwischen WBC und Schmerzempfindung beschreiben. Abbildung 15 zeigt die VAS- Schmerzempfindungsskala bei verschiedenen Kälteapplikationen.

Keinen signifikanten Unterschied nach einmaliger WBC-Applikation konnten die Studien von Haq et al. (2021), Ferreira-Junior et al., (2015), Russel et al. (2016), Costello et al. (2012) beobachten.

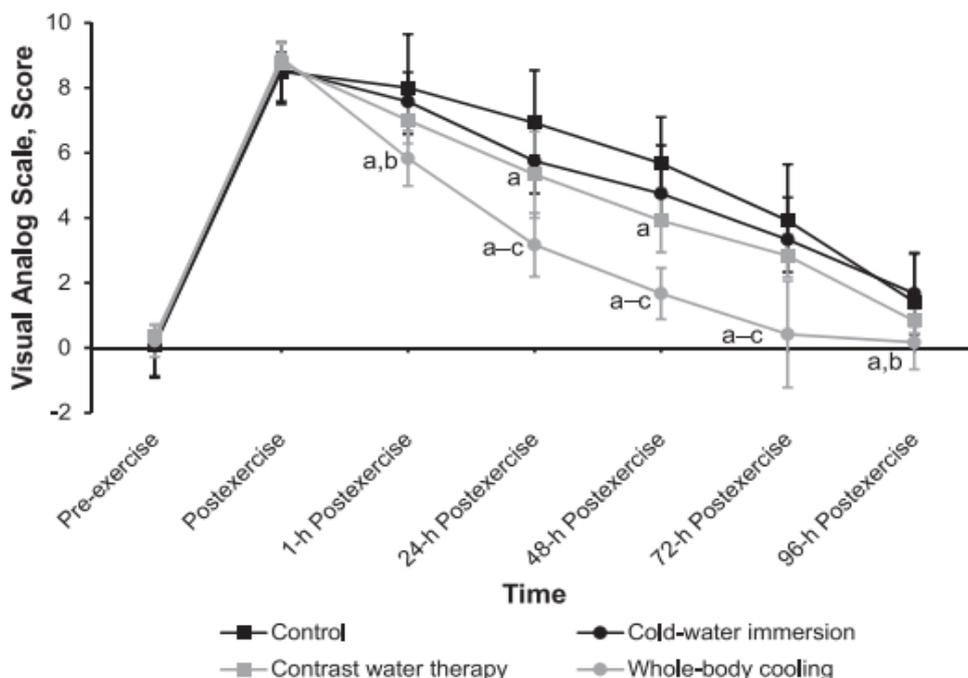


Abbildung 125: VAS-Skala verglichen zwischen CON, CWT, CWI und WBC (Chaoyi et al., 2020: 333)

Nachstehend werden in Tabelle 9 die Ergebnisse zum Schmerzempfinden bzw. Muskelkater der verschiedenen Studien dargestellt.

Tabelle 9: Auswirkungen der WBC auf das Schmerzempfinden bzw. den Muskelkater

<b>Studie</b>	<b>Auswirkung Muskelkater</b>	<b>Interventionen</b>	<b>Belastung</b>	<b>Getestet</b>
<i>Fonda &amp; Sarabon, 2013</i>	positiv	sechstägig	DJ, Beinkrafttraining	Baseline, 1h, 24h, 48h, 72, 96h
<i>Costello et al., 2012</i>	Keine Auswirkung	1x	Sprinttest Fahrradergometer, Beinkrafttraining	Baseline, 24, 48, 72, 96h
<i>Chaoyiet al., 2020</i>	positiv	1x	90min HIT-Laufband	Baseline, 0h, 24h, 48h, 72h
<i>Douzi et al. 2019</i>	positiv	1x	30min HIT-Laufband	Baseline, am nächsten Morgen
<i>Ferreira-Junior et al., 2015</i>	Keine Auswirkung	1x	Sprungtraining (DJ)	Baseline, 24, 48, 72, and 96 h
<i>Haq et al., 2021</i>	Keine Auswirkung	1x	Bergauflauf (30min)	Baseline, 1h, 24h
<i>Hohenauer et al., 2020</i>	positiv	1x	Sprungtraining (DJ)	Baseline, 0h, 1h, 24h, 48, 72h
<i>Kojima et al., 2018</i>	positiv	1x	Maximalsprint Intervalle Cycling	Baseline, 30min posttest
<i>Russel et al., 2016</i>	Keine Auswirkung	1x	Sprinttraining (Fußball)	Baseline, 0h, 2h, 24h
<i>Wilson et al., 2019</i>	Positiv nach 48h nach Belastung Keine Auswirkung für restliche Zeit	1x	Beinkrafttraining	Baseline, 0h, 1h, 2h, 24h, 48h, 72h

## Wohlbefinden

Das subjektive Wohlbefinden wurde in diversen Studien mit Hilfe des DALDA (Daily Analyses of Life Demands for Athletes in Training) Fragebogens erhoben. Dort konnten Douzi et al. (2019) signifikant bessere Werte am Morgen nach einmaliger WBC-Intervention feststellen ( $P = 0,05$ ). Wilson et al. (2018/ nach Marathon) konnten zwar nach 24 Stunden keine signifikanten Unterschiede bei DALDA beobachten, jedoch nach 48 Stunden. Drei weitere Studien (Haq et al., 2021; Krüger et al., 2015; Russel et al., 2017) konnten eine bis 24 Stunden nach Belastung keine Unterschiede im wahrgenommenen Wohlbefinden, dem Fitnesszustand, der Energiebereitschaft und der Leistungsbereitschaft oder der subjektiv empfundenen Erholung feststellen.

## Ermüdung

Schaal et al. (2015) (14-tägige WBC) konnten eine signifikant negative Korrelation bei dem subjektiv empfundenen Ermüdungszustand zwischen der Kontrollgruppe und den Grundwerten beobachten. So fühlten sich die Patientinnen der Kontrollgruppe nach der Belastung ohne Kälteapplikation müder, während die Patientinnen nach der WBC-

Intervention keinen signifikanten Unterschied im Ermüdungszustand vor und nach der Belastung fühlten. Douzi et al. (2019) und Kojima et al. (2018) konnten keinen signifikanten Unterschied nach einmaliger Intervention auf den subjektiv empfundenen Ermüdungszustand erkennen.

### **Wahrgenommene Anstrengung (Rating of perceived exertion) (RPE)**

Während Schaal et al. (2015) nach 14-tägiger WBC-Intervention positive Auswirkungen auf die RPE bei submaximaler Belastung beobachten konnten, war bei Schaal et al. (2013) nach einmaliger WBC die wahrgenommene Anstrengung signifikant höher als bei den anderen Interventionsformen (CON, CWI) ( $P < 0,05$ ).

## 5. Diskussion

Durch die großen Wettkampf- bzw. Trainingsbelastungen im Sport rücken schnelle und effektive Regenerationsmethoden, die es zum Ziel haben, konstant höher werdende Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, immer mehr in den Vordergrund (Meyer et al., 2016). Eine relativ neue Regenerationsmethode ist die Ganzkörperkältetherapie auch WBC bzw. PBC genannt. Ziel der folgenden Arbeit war es die aktuellen Studien zu dieser Interventionsmethode zusammenzufassen, um einen Überblick zu den Vorteilen bzw. Nachteilen geben zu können.

### **Körpertemperatur**

Die Körpertemperatur wurde von sechs Studien analysiert und in allen Studien wurden niedrigere Körpertemperatur nach der WBC-Applikation vor allem die ersten  $10 \pm 5$  min nach Intervention beobachtet. Eine reduzierte Körpertemperatur führt zu verschiedenen physiologischen Reaktionen, wie beispielsweise zur Erhöhung der parasympathischen Aktivität. Der Parasympathikus ist ein Teil des vegetativen Nervensystems, der sich vorwiegend um die Regeneration und die Herstellung des Inneren Gleichgewichts (Homöostase) des Organismus kümmert.

Durch die Temperatursenkung kommt es zur Vasokonstriktion (Blutgefäßverengung), die zu einer geringeren Blut- und Sauerstoffversorgung vor allem in den Extremitäten führt, um die inneren Organe zu schützen (Haq et al., 2021). Dadurch werden das zentrale Blutvolumen, der Blutdruck und das Schlagvolumen erhöht, sowie die Herzfrequenz verringert, um das Herzzeitvolumen aufrechtzuerhalten (Krüger et al., 2015). Weiters kann diese thermische Reaktion durch die Blutgefäßverengung zu einer Verringerung der Durchlässigkeit der Blutgefäße führen und somit den Entzündungsprozess, den Zellstoffwechsel, die Ödembildung und die enzymatische Aktivität verringern und die Stabilität der lysosomalen Muskelmembranen verbessern, ohne die Muskelfunktion zu beeinträchtigen (Hauswirth, 2011; Vieira et al. 2015, Chaoyi et al., 2020).

Es konnte gezeigt werden, dass eine Senkung der Hauttemperatur unter  $13,6^{\circ}\text{C}$  eine analgetische Wirkung hat, denn die Nervenleitung wird gehemmt und somit auch die Schmerzweiterleitung. Außerdem kommt zur Bildung von Acetylcholin, was sich positiv auf Gedächtnis- und Gehirnaktivitäten, als auch auf die Muskelbewegungen auswirken kann (Douzi et al., 2019). Selve et al. (2014) testeten die Auswirkungen von drei unterschiedlichen WBC-Expositionszeiten (1, 2 und 3 min) auf die Hauttemperatur und hämodynamische

Reaktionen und stellten fest, dass eine Exposition von mindestens zwei Minuten erforderlich war, um die Hauttemperatur signifikant zu senken und physiologische Reaktionen auszulösen. Fonda et al. (2014) verglichen ebenfalls verschiedene Interventionszeiten (1 min 30 s, 2 min, 2 min 30 s und 3 min) und stellten fest, dass eine Exposition von mindestens zweieinhalb Minuten erforderlich ist, um die Hauttemperatur signifikant zu senken.

Neben den bereits erwähnten positiven Auswirkungen kann es bei dem Kältereiz auch zu Nebenwirkungen kommen. So kann der Körper die extreme Kälte als schädlichen Reiz interpretieren, was zu negativen Stressreaktionen führen kann: Dies zeigt die Studie von Wilson et al. (2018), bei der sich eine einmalige WBC-Intervention nach einem Marathon negativ auf CK, CRP und die Leistungsfähigkeit auswirkte.

### **Maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ )**

In den ausgewählten Studien wurden verschiedene Ergebnisse auf die  $VO_{2max}$  beschrieben. So konnten Schaal et al. (2013) nach einmaliger Kälteintervention höhere Werte der  $VO_{2max}$  zwischen zwei Schwimmwettkämpfen beobachten, was zu einer Leistungssteigerung führen könnte. Krüger et al. (2015) und Ziemann et al. (2012) konnten nach einmaliger bzw. fünftägiger WBC-Intervention nach submaximaler Belastung niedrigere  $VO_{2max}$  Werte beobachten. Dies könnte mit einer geringeren metabolischen Belastung, erhöhter Arbeitsökonomie, niedrigerer Sauerstoffaufnahme der passiven Muskeln aufgrund der Vasokonstriktion zusammenhängen (Krüger et al., 2015). Eine weitere Studie von Piras et al. (2019) kam ebenfalls auf niedrigere  $VO_{2max}$  Werte, während eines Intervalllaufs nach Kälteexposition, was ebenfalls darauf hindeutet, dass die WBC-Gruppe weniger Energie für die Belastung aufgewendet hat. Bei zwei weiteren Studien mit maximaler Belastung konnten keine Unterschiede bei der  $VO_{2max}$  festgestellt werden (Broatch et al., 2019; Kojima et al., 2018).

### **Blutdruck und Herzfrequenz (HF)**

Während sich nur eine analysierte Studie mit den Auswirkungen der Kälteapplikation auf den Blutdruck beschäftigte und keine Unterschiede nach einmaliger Intervention beobachten konnte (Hohenauer et al., 2020), konnten diverse andere Studien eine Erhöhung des Blutdrucks nach Kälteexpositionen beobachten (Mourot et al., 2008; Louis et al., 2020). Kälteeinwirkungen nach körperlicher Betätigung können, wie bereits erwähnt, eine Reaktivierung der parasympathischen Aktivität auslösen, was dazu führt, dass das zentrale Blutvolumen und der Blutdruck erhöht werden (Mourot et al., 2008).

Zur Herzfrequenz lieferten die analysierten Studien unterschiedliche, wenig eindeutige Ergebnisse. Am häufigsten konnte dokumentiert werden, dass nach einer WBC-Intervention die Herzfrequenz bei submaximalen Belastungen niedriger war (Krüger et al., 2015; Schaal et al., 2013; Piras et al., 2019), aber auch auf maximalen Level konnten niedrigere HF dokumentiert werden (Kojima et al., 2018). Eine weitere Studie, die keine sportliche Belastung vor der Intervention durchführte, konnte ebenfalls niedrigere Werte nach fünftägiger Intervention feststellen (Louis et al., 2020). Eine niedrigere Herzfrequenz kann ebenfalls auf die erhöhte Aktivität des Parasympathikus und eine effektivere Erholungsrate durch effizientere Funktion des kardiorespiratorischen Systems oder geringere kardiovaskuläre Belastung zurückzuführen sein (Louis et al., 2020; Ziemann et al., 2012; Krüger et al., 2015). Weitere analysierte Studien konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede der HF bei maximalen Belastungen feststellen (Schaal et al., 2015; Krüger et al., 2015).

### **Herzratenvariabilität (HRV), Schlafqualität, Schmerz- und Wohlbefinden**

Beide Studien, die sich mit der HRV befassten, konnten nach einmaliger WBC-Intervention einerseits höhere HRV-Werte beobachten (Schaal et al., 2013) und andererseits keinen signifikanten Unterschied über die ganze Schlafnacht verteilt beobachten (Douzi et al., 2019). Douzi et al. (2019) konnten jedoch bei genauerer Betrachtung der verschiedenen Schlafstadien erkennen, dass es in der ersten SWS-Phase zu einer Erhöhung der HVR kam, was die Zunahme der parasympathischer und die Abnahme der sympathischen Aktivität vermuten lässt (Mourot et al., 2008). Eine verbesserte HFV kann sich positiv auf die Schlafqualität auswirken.

Das Einschlafen tritt normalerweise auf, wenn die Aktivitätsniveaus des Sympathikus und des Hypothalamus-Hypophyse-Nebennierenrinde-Systems (HPA) abnehmen, was mit einer Zunahme der parasympathischen Aktivität und einer durch Dunkelheit induzierten Melatoninsekretion durch die Zirbeldrüse einhergeht. Sportliche Belastung stimuliert sowohl die Sympathikus- als auch die HPA-Aktivität und führt dazu, dass eine anstrengende, abendliche Trainingseinheit dazu führen kann, dass die Sympathikusaktivität mehrere Stunden nach dem Training noch erhöht bleibt. Dies kann die Schlafqualität des Sportlers/der Sportlerin beeinträchtigen (Schaal et al., 2015). Sowohl eine einmalige (Douzi et al., 2019), als auch 14t-tägige WBC-Intervention (Schaal et al., 2015) konnten positive Auswirkungen der Kälte auf die Schlafeffizienz, die Schlafqualität und die Schlaflatenz bewirken. Ausreichender und ungestörter Schlaf sind die wichtigsten

Komponenten für einen optimalen Regenerationsprozess (Friedrich, 2014). Beim Schlafen kommt es zu wichtigen regenerativen Prozessen für den Organismus, wie der Gedächtnisbildung, der Konsolidierung, der Wiederauffüllung der Glykogenspeicher, der Erholung des Immunsystems, der Ausschüttung der Wachstumshormone (STH) usw. (Friedrich, 2014). Durch Schlafmangel steigt die Gefahr von Verletzungen und Übertraining (Bouzigon et al., 2021). Eine weitere analysierte Studie von Broatch et al. (2019), die dreimal wöchentlich über vier Wochen nach einem HIT-Training eine WBC-Intervention durchführten, konnte keine signifikante Änderung der Schlafqualität beobachten.

Die Schlafqualität kann ebenfalls vom Schmerzempfinden beeinflusst werden (Douzi et al., 2019). Frühere Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen Schlafstörungen und wahrgenommenem Schmerz und berichteten, dass ein Anstieg des Schmerzniveaus den Schlaf stört, indem es unter anderem neurobiologische Reaktionen von Stress auslöst. In diesen Studien wurde vermutet, dass eine stärkere Schmerzlinderung die Schlafqualität verbessere und Schlafstörungen vorbeugen könne. Daher könne, die in den analysierten Studien beobachtete Schmerzreduktion wahrscheinlich aufgrund der analgetischen Wirkung der Kryotherapie, eine bessere Schlafqualität und ein weniger gestörtes Schlafmuster gefördert haben (Lautenbacher et al., 2006).

Sechs der analysierten Studien konnten positive Effekte der WBC auf den subjektiv wahrgenommen Muskelschmerz beobachten, während vier weitere keine signifikanten Unterschiede feststellen konnten. Muskelschmerz und Muskelkater sind wahrscheinlich die bekanntesten und häufigsten negativen Symptome bei Sportler/innen nach dem Training bzw. Wettkämpfen. Die kleinen Einrisse im Muskel, die bei Muskelkater entstehen, können sich negativ auf die Muskelfunktion (niedrigere Kraft und Leistung) und die Gelenkmechanik (z. B. eingeschränkter Gelenkwinkel) auswirken und die Leistungsfähigkeit negativ beeinflussen (Cheung et al., 2003). Außerdem könnte durch die genannten negativen Auswirkungen und durch das verletzungsbedingte gestörte Rekrutierungsmuster die Verletzungsgefahr steigen (Cheung et al., 2003).

### **Muskelschwellung und Muskelsauerstoffsättigung ( $SmO_2$ )**

Während die Studie von Hohenauer et al. (2019) keine signifikanten Unterschiede nach der WBC-Intervention in der Muskelschwellung nach 4x 20reps Drop Jumps (DJ) beobachten konnte, konnten Ferreira-Junior et al. (2015) bei gleicher Anzahl an DJ eine signifikante Erhöhung in der Muskelschwellung bei der Kontrollgruppe beobachten, während in der

WBC-Gruppe keine Veränderungen zu beobachten waren. Der einzige Unterschied zwischen den zwei Studien war, dass in der Studie von Hohenauer et al. (2019) Frauen untersucht wurden, in der Studie von Ferreira-Junior et al. hingegen ausschließlich Männer. Ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse könnte sein, dass Frauen einen höheren Fettanteil besitzen als Männer. Ein erhöhter Fettanteil bewirkt eine geringere Wärmeleitgeschwindigkeit und könnte dazu führen, dass Kälteauswirkungen weniger Effekte erzielen. Haq et al. (2021) unterteilten in ihrer Studie die männlichen Athleten in zwei Körperfettanteil Kategorien und konnten ebenfalls nur positivere Effekte auf die Muskelschwellung und  $SmO_2$  bei der Gruppe mit geringerem Fettanteil beobachten. Die positiven Auswirkungen der WBC auf die Muskelschwellung sind möglicherweise wieder auf die Vasokonstriktion zurückzuführen, die Entzündungsprozesse hemmen kann (Ferreira-Junior et al., 2015).

Krüger et al. (2015) konnten eine höhere Muskelgewebssättigung des M. vastus lateralis während submaximaler bzw. maximaler Belastung nach WBC-Applikation im Vergleich zur CON-Gruppe beobachten. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Blut- und Sauerstoffversorgung während der Belastung bei der WBC-Gruppe besser war. Ein Grund dafür könnte sein, dass die kardiale Leistungsfähigkeit mit Vasodilatation (Gefäßerweiterung) in den arbeitenden Muskeln verbessert und der Blutfluss zu den passiven Gliedmaßen immer noch durch die Kälte unterdrückt wurde (Krüger et al., 2015). Nach dem Training wurde hingegen ein signifikant höherer Anstieg der  $SmO_2$  (~20 %) in der Kontrollgruppe im Vergleich zur WBC-Gruppe beobachtet. Dies hängt höchstwahrscheinlich mit einer belastungsinduzierten Vasodilatation und Erhöhung der Muskeltemperatur und der Kontrollgruppe zusammen. Sowohl WBC als auch CWI reduzierten die  $SmO_2$  nach dem EIMD-Protokoll im Vergleich zum Ausgangswert um circa 15 Prozent (Hohenauer et al., 2020).

### **Wohlbefinden**

Beim subjektiv wahrgenommenen Wohlbefinden konnten drei Studien keine signifikanten Unterschiede erkennen. Drei Studien konnten positive Auswirkungen der Kälte beobachten (Douzi et al., 2019; Wilson et al., 2018; Hausswirth et al., 2011). Diese Auswirkung könnte dadurch entstehen, da durch die Kälte im Körper die Produktion von Beta-Endorphin stimuliert wird, einem Neurotransmitter mit analgetischer Wirkung, der für das Wohlbefinden verantwortlich ist (Szczepańska-Gieracha et al., 2014). Szczepańska-

Gieracha et al. (2014) konnten so in ihrer Studie mit 10 WBC-Interventionen das Wohlbefinden und die Stimmung (sowohl psychologisch als somatisch) der Patient/innen verbessern, was folglich zu einer Verbesserung ihrer Lebensqualität führen könnte. Ebenfalls fanden sie heraus, dass je schlechter der psychische Zustand der Patient/innen vor der Kryotherapie war, desto stärker fiel die positive Wirkung aus. Die beobachtete Wirksamkeit der Kryotherapie war am stärksten bei Frauen, Patienten mit Rückenschmerzen und bei Patienten mit schweren depressiven Symptomen. Hausswirth et al. (2011) beschreiben ebenfalls, dass sich die WBC positiv auf depressive Symptome durch Verbesserung des Wohlbefindens, des Schlafs und der Entspannung auswirkte, was bestätigt, dass die WBC zu einem verbesserten Erholungsgefühl im regenerativen Bereich führen kann. Ebenfalls konnte eine weitere Studie die Verbesserung des Wohlbefindens dadurch erklären, dass es nach 10 WBC-Einheiten zu einer statistisch signifikanten Abnahme der Konzentrationswerte der meisten Parameter des oxidativen Stresses kam (Stanek et al., 2016).

### **Blutmarker**

In den analysierten Studien wurden verschiedene Blutwerte erhoben, die die Auswirkungen und Zusammenhänge von belastungsinduzierten Muskelschädigungen und der WBC-Intervention beschreiben sollen.

### **Laktat**

Über die Hälfte der Studien konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen WBC- und CON-Gruppe in den Werten des Stoffwechselprodukts Laktat erkennen, während andere zwei bzw. drei (eine nicht signifikant) Untersuchungen eine erhöhte Laktat-Clearance beobachten konnten. Darunter wird die Geschwindigkeit verstanden, in der Laktat abgebaut wird. Erhöhte Werte können dazu führen, dass höhere maximale und submaximale Leistungen ausgeführt werden können (Neric et al., 2009). Schaal et al. (2015) konnten eine positive Korrelation zwischen erhöhter Laktat-Clearance und der Verringerung sympathischer und adrener Reaktionen bei erschöpften Athleten erkennen, was mit einer geringeren Herzfrequenz und Cortisolmenge einherging. Außerdem beschrieben sie in ihrer Studie, dass es nach submaximalem Training nach einer WBC zu einer geringeren Laktatanhäufung kam, was auf eine reduziertere Energieproduktion (Glykolyse) hindeuten könnte (Schaal et al., 2015). Nach einer WBC konnten Krüger et al. (2015) nicht nur höhere Laktatwerte, sondern auch eine längere Zeit bis zur Erschöpfung ( $T_{lim}$ ) beobachten, was als positive Wirkung auf die Leistungsfähigkeit gesehen werden kann.

## **Kreatinkinase (CK)**

Der CK – Blutmarker ist ein häufig verwendeter EIMD-Marker, da er im Kreislauf leicht nachweisbar ist und auf eine gestörte Muskelmembranen hinweist (Haq et al., 2021). Die CK tritt nur dann in den Blutkreislauf aus, wenn das Sarkolemm beschädigt ist. Allerdings hat das Enzym eine Molekülmasse von 84 kDa und muss zuerst durch das Lymphsystem transportiert werden, bevor es in den Blutkreislauf gelangt. Daher tritt eine Änderung der CK-Konzentration im venösen Blut verzögert auf. Je nach Ausmaß der Muskelschädigung erreicht die CK-Konzentration ihren Höhepunkt 24 bis 96 Stunden nach dem Training (Krüger et al., 2018).

Vier von sieben Studien konnten keine signifikanten Auswirkungen der WBC auf die CK-Konzentration dokumentieren, wobei zwei davon die CK-Werte nur bis 24 Stunden nach der Belastung erhoben (Haq et al., 2021; Russel et al., 2016) und drei von den vier einmalige WBC-Intervention beinhalteten (Haq et al., 2021; Russel et al. 2016; Wilson et al., 2019). Drei weitere Studien konnten hingegen einen geringeren CK-Anstieg nach der WBC beobachten. Zwei davon waren Studien über einen längeren Zeitraum (Zembron-Lancy et al., 2020; Ziemann et al., 2012). Ältere Studien haben gezeigt, dass 5-10 Sitzungen notwendig sind, um die CK-Konzentration zu modifizieren und zu verringern (Banfi et al., 2009; Wozniak et al., 2007; Hausswirth et al., 2011) um den Muskelmembranabbau, Muskelfaserschäden und die Zellpermeabilität zu reduzieren. Wilson et al. (2018) konnten hingegen negative Effekte auf strukturelle Muskelschäden 24 Stunden nach der WBC nach einem Marathonlauf beobachten.

Die unterschiedlichen Ergebnisse bezüglich der Auswirkungen der CK könnten auch daran liegen, dass CK-Werte oft von individueller Variabilität geprägt sind (Kindermann, 2016). Bei regelmäßigem Training sind auch die CK-Auslenkungen im Vergleich geringer. Die größten CK-Anstiege sind jedoch nach exzentrischen, ungewohnten Belastungen (v. a. Kraft- und Schnellkraftbelastungen) zu erwarten. Außerdem kann angenommen werden, dass simulierte Laufrennen auf Laufbändern oder Fahrradergometern weniger schädlich für die Muskulatur sind als echte Laufrennen, wie in der Studie von Wilson et al. (2018), die die CK-Werte nach einem Marathon erhoben, zeigt. Die Strecken sind dort oft schwieriger und von herausfordernderen umweltspezifischen Bedingungen geprägt und können den Organismus mehr beanspruchen (Hausswirth et al., 2011). In den analysierten Studien wurden positive Auswirkungen der CK-Werte nach Kryotherapie nach Trainingscamps (Ringens und Tennis) und nach 90min HIT-Laufbandtraining beschrieben, während bei

Sprünge und Beinkrafttrainings (konzentrisch und exzentrisch) keine signifikanten Unterschiede je nach Intervention zu beobachten waren.

Chaoyi et al. (2021) beobachteten ebenfalls, dass je geringer der CK-Anstieg ist, desto geringer fällt auch die VAS-Scala zum Schmerzempfinden aus.

### **C-reaktives Protein (CRP)**

Das C-reaktive Protein steigt von allen Parametern bei Entzündungen am schnellsten an und fällt am schnellsten wieder ab. In den analysierten Studien befassten sich drei Studien mit dem CRP und kamen auf drei unterschiedliche Ergebnisse. Während eine Studie nach einmaliger WBC nach einem Beinkrafttraining erhöhte CRP-Werte im Gegensatz zur Kontrollgruppe beobachtete (Wilson et al., 2019), konnten nach 90 min HIT-Laufbandtraining niedrigere CRP-Werte in der WBC-Gruppe beobachtet werden. Erhöhte CRP-Werte könnten durch den Kältereiz bedingt werden, da bei Temperaturen unter 10°C die Erholung negativ beeinflusst werden kann, da kältebedingte Stressreaktionen hervorgerufen werden können. Dies kann dazu führen, dass die Reaktionen der Entzündungskaskaden eskalieren und die Schmerzwahrnehmung verstärkt wird, was sich letztlich auf die funktionelle Erholung auswirken kann (Wilson et al., 2019). Andere Studien hingegen deuten darauf hin, dass die WBC systemische Entzündungsmarker reduzieren kann und sich die Stressreaktion durch die Kälte positiv auf die Entzündungsfaktoren auswirken kann, da es zu einer erhöhten Sekretion von Epinephrin und Norepinephrin kommt (Chaoyi et al., 2020).

### **Zytokine**

Zytokine sind Proteine, die für die Regulation des Wachstums und Differenzierung von Zellen verantwortlich sind. In den analysierten Studien wurden verschiedene Zytokine untersucht.

Es wurden Interleukine, die vor allem immunologische Vorgänge steuern, analysiert. Es wurden in den analysierten Studien keine Unterschiede bei dem antiinflammatorischen IL-10 beobachtet. Für das proinflammatorische Interleukin-6 (IL-6), was nach sportlicher Betätigung zunimmt und einer der wichtigsten Faktoren bei der Regulierung des Stoffwechsels und der Stimulierung der regenerativen und proliferativen Prozesse der Satellitenzellen ist, wurden verschiedene Ergebnisse beobachtet (Ziemann et al., 2012). Zwei Studien konnten keine Unterschiede nach einmaliger WBC-Intervention beobachten. Selve et al. (2014), die sich ebenfalls mit den Auswirkungen von einer WBC beschäftigten,

konnten ebenfalls keine Veränderungen des zirkulierende IL-6 nach einer einzelnen Kälteexposition nach einem Rugby-League-Spiel, unabhängig von der Dauer (1, 2 oder 3 min), beobachten. Eine weitere analysierte Studie, mit einer WBC-Intervention vor der sportlichen Belastung konnte signifikant geringere IL-6 Werte nach Belastung beobachten (Mila-Kierzenkowska et al., 2013), während eine Studie über fünf Tage WBC-Intervention nach Belastung eine Steigerung des IL-6 in der WBC-Gruppe beobachten konnte. Eine weitere Studie konnte 30 Minuten nach der WBC signifikant höhere IL-6 Werte beobachten, was bis zum nächsten Morgen anhielt und über zehn Tage Intervention stetig anstieg (Lubkowska et al., 2019). Während eine andere Studie von Klemm et al. (2021), die gesunde Männer (ohne sportliche Belastung) auf die Effekte von WBC (2x pro Woche über drei Wochen) untersuchte, niedrigere IL-6 Werte vor und nach der Intervention beobachten konnten. Eine kurzfristige erhöhte IL-6 Anzahl kann sich positiv auf die Muskelregeneration, Muskelwachstum und Immunabwehr auswirken, eine langanhaltende erhöhte IL-6 Konzentration könnte wiederum auf Entzündung und Funktionsminderung der Zelle deuten und im schlimmsten Fall ein Indiz für Muskelschwund und Atrophie (Verkrümmung bzw. Verkleinerung eines Gewebes, Organs, Zelle) sein (Muñoz-Cánoves et al., 2013).

Neben dem IL6 ist das IL-1 für eine primäre Immunantwort und die Entstehung von Entzündungen wichtig. Signifikant niedrigere Werte des proinflammatorisches IL-1 $\beta$  wurden bei einer WBC vor Belastung beobachtet (Mila- Kierzenkowska et al., 2013), was auf eine entzündungshemmende Wirkung der WBC-Intervention zurückzuführen ist und als Unterstützung im Trainingsprogramm fungieren kann (Mila- Kierzenkowska et al., 2013). Klemm et al. (2021, ohne sportliche Belastung), konnten bei mehrere Sitzungen WBC ebenfalls niedrigere Werte von IL-1 analysieren.

Erhöhte Werte an Leukozyten (Ziemann et al., 2012) und IL-6 könnten einerseits darauf hindeuten, dass das Immunsystem stimuliert wird und den Organismus besser darauf vorbereitet auf Infektionen zu reagieren, andererseits können geringere Mengen an IL-1 $\beta$  und IL-6 auch als eine Gegenwirkung interpretiert werden, die die Entwicklung eines entzündlichen Prozesses stoppt (Dugué & Leppänen, 2000). In der Studie von Lubkowska et al. (2011) wurde ebenfalls nach mehreren WBC-Sitzungen beobachtet, dass es einerseits zu einer Erhöhung der Leukozytenzahlen und zu einem Anstieg entzündungshemmender Zytokine kam. Die Wirkungen von IL-6 auf den Körper sind jedoch pleiotrop in den

verschiedenen Geweben und Organen und sollten deshalb mit großer Sorgfalt beobachtet werden (Dugué & Leppänen, 2000).

Für den multifunktionalen Signalstoff des Immunsystems Tumor necrosis factor  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) wurden bei einmaliger Kälteintervention keine Unterschiede festgestellt. Nach zweimal täglicher, über fünf Tage gehende Intervention wurde ein höherer Abfall des TNF- $\alpha$  nach der WBC als ohne Kälteintervention beobachtet (Ziemann et al., 2012). Der TNF- $\alpha$  hat folgende Auswirkungen auf das Organsystem, wie beispielsweise Stimulierung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse, Bildung von Akute-Phase-Proteinen wie z. B. Interleukine oder CRP. Erhöhte TNF- $\alpha$  Werte führen zu klassischen Entzündungssymptomen, wie Schwellungen, Rötung oder Schmerz. Andere Studien konnten ebenfalls Erhöhung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse nach mehrmaligen WBC- Interventionen beobachten und einen damit verbundenen Anstieg von Cortisol und Katecholaminen (Dugué & Leppänen, 2000).

### **Testosteron und Cortisol**

Testosteron, Cortisol und ihr Verhältnis werden oft als Biomarker für den anabolen Status, die Trainingsreaktionen, /-anpassungen und die Motivation verwendet. Durch Training kommt es zu einer Erhöhung der Cortisol- bzw. Testosteronwerte (Krüger et al., 2019). Von den drei analysierten Studien, die sich mit Testosteronanstieg nach der WBC-Intervention befassten, konnten zwei erhöhte Testosteronwerte nach einmaliger (Russel et al., 2016) bzw. mehrtägiger WBC-Intervention (Ziemann et al., 2012) beobachten. Es wird vermutet, dass Testosteron ein primäres anaboles Hormon ist, das an der Proteinsynthese und dem Schutz vor Skelettmuskelabbau beteiligt ist und die Trainingsmotivation positiv beeinflussen kann (Russell et al., 2016). Ebenfalls wurde beobachtet, dass niedrigere Testosteronkonzentrationen im Serum signifikant mit erhöhten Entzündungswerten verbunden sind (Russell et al., 2016).

Bei Cortisol konnten die meisten Studien keine signifikanten Veränderungen nach einer WBC-Applikation beobachten (Krüger et al., 2019; Russel et al., 2016; Schaal et al., 2015; Broatch et al., 2019), während eine fünftägige Intervention von Ziemann et al. (2012) einen Cortisolanstieg dokumentieren konnten. Cortisol ist ein Hormon, das in der Nebennierenrinde gebildet wird und bei Stress vermehrt ausgeschüttet wird. Es hat viele Funktionen im menschlichen Körper, wie beispielsweise die Kontrolle der Stressreaktion, des Blutzuckerspiegels, des Blutdrucks und der Entzündungsreaktionen. So kann Cortisol

die Synthese von Interleukinen hemmen und dadurch die Immunantwort einschränken bzw. abschwächen (Thau et al., 2022).

### **Leistungsfähigkeit**

Es wurden bei mehreren Studien keine positiven Effekte auf die Maximalleistung bei einmaliger (Costello et al., 2012; Russel et al., 2017) bzw. mehrtägiger WBC-Intervention beobachtet (Broatch et al., 2019). Ferreira-Junior et al. (2014b) konnten hingegen einen Unterschied zwischen konzentrischen und exzentrischen Übungen erkennen. Zwar konnten nach konzentrischen Übungen keine Verbesserungen der Leistung nach einer WBC beschrieben werden, jedoch signifikant bessere Werte nach exzentrischen Übungen. Bei exzentrischen Übungen wird der Widerstand in der nachgebenden Phase (Muskeldehnung) gegenüber der konzentrischen Phase erhöht. Es kommt zu einer Erhöhung der muskelmechanischen Belastung und eine dadurch vermehrte Muskeldestruktion, die durch Mikrotraumata in den Sarkomeren entstehen. Nach exzentrischen sportlichen Belastungen kommt es öfter zu erhöhten Entzündungsreaktionen, Muskelschmerzen oder Muskelkater (Raeder et al., 2020). Da sich WBC-Interventionen positiv auf Entzündungsprozesse und Muskelkater auswirken können, könnten hier Sportler/innen, die im Training vermehrt exzentrische Belastungen standhalten müssen, davon profitieren (Chaoyi et al., 2020).

Weiters zeigten mehrtägige Studien, dass sich die WBC positiv auf Ermüdungserscheinungen auswirken kann. So konnten Ziemann et al. (2012) nach fünftägiger WBC bei Tennisspielern eine höhere Schlageffizienz beobachten als bei der Kontrollgruppe. Dies könnte was drauf hindeuten, dass sich eine WBC-Intervention positiv auf die mentale Ermüdung auswirken kann. Schaal et al. (2015) konnten beobachten, dass während den 400m Sprints über 14 Tage die Schnelligkeit bei der Kontrollgruppe abnahm, bei der WBC-Gruppe hingegen wurden keine signifikanten Unterschiede in der Geschwindigkeit festgestellt. In derselben Studie wurde das subjektive Ermüdungsempfinden positiv durch die WBC beeinflusst, während zwei weitere Studien mit einmaliger WBC-Intervention keine Unterschiede im empfundenen Ermüdungszustand zeigen konnten (Douzi et al., 2019; Kojima et al., 2018).

Die Zeit bis zur Erschöpfung bei maximalen Übungen wurde durch eine WBC einmal positiv (Krüger et al., 2015) und einmal nicht signifikant beeinflusst (Broatch et al., 2019). Eine weitere Studie, die sich mit siebentägigen WBC-Intervention befasste, konnte positive Effekte in der Superkompensation bei ermüdeten Ausdauersportler beschreiben, was

dafürspricht, dass eine WBC Ermüdungserscheinungen bei intensiven Trainingsperioden abmildern kann (Le Meur et al., 2017).

Bei der isometrischen maximalen Kontraktionsleistung (MVIC) wurden unterschiedliche Ergebnisse beobachtet. Während der Großteil der analysierten Studien keine signifikanten Unterschiede beobachten konnte (Costello et al., 2012; Hohenauer et al., 2020; Wilson et al., 2019), wurde nach einmaliger WBC nach einem Beinkrafttraining eine positive Korrelation zwischen Intervention und Leistung beschrieben (Wilson et al., 2019; Hausswirth et al., 2011). Die gleiche Intervention wirkte sich nach einem Marathon negativ auf die MVIC aus (Wilson et al., 2018). Weiters wurde in derselben Studie eine negative Korrelation zwischen dem DVZ (Dehnungsverkürzungszyklus) und der RDF (rate of force development) 24 bis 48 Stunden nach der WBC-Intervention beobachtet (Wilson et al., 2018; Wilson et al., 2019). Diese negativen Auswirkungen könnten durch eine kältebedingte Abschwächung der anabolen Signalübertragung und Muskelproteinsynthese sowie durch potenzielle Dämpfung der Entzündungsreaktion zurückzuführen sein, die eine notwendige Komponente adaptiver Zuwächse wäre (Haq et al., 2022). Der Großteil der Studien, die sich mit der Sprungkraft im Zusammenhang mit einer WBC-Intervention befassten, konnte keine bzw. positive Effekte auf die Sprunghöhe, Sprungkraft und RDF beobachten.

Das maximale Drehmoment<sup>19</sup> wurde von mehreren Studien untersucht und konnte Großteils durch eine WBC positiv beeinflusst werden (Ferreira-Junior et al., 2014b; Ferreira-Junior et al., 2014b; Haq et al., 2021; Fonda und Sarabon, 2013). Zwei weitere Studien konnten keine Effekte der WBC feststellen, während der maximale Drehmoment nach Marathons durch die WBC negativ beeinflusst wurde (Wilson et al., 2018). Zwei weitere Studien, die sich mit der Range of Motion nach WBC-Intervention auseinandersetzten, konnten positive Auswirkungen auf die Beweglichkeit beschreiben (De Nardi et al., 2020; De Nardi et al., 2015).

Zusammenfassend kam es bei fast allen erhobenen Daten der verschiedenen Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen. Da die Interventionsformen in den meisten Fällen sehr ähnlich waren, scheinen hier die Belastungsformen und auch das Geschlecht eine wesentliche Rolle zu spielen, ob sich WBC-Interventionen auf den Körper positiv auswirkten oder Effekt zeigten. Ebenfalls konnten einige Studien mit gleicher Belastungs-

---

<sup>19</sup> Das Muskeldrehmoment ist also die Kraft, die von den Muskeln durch einen Hebelarm einer gegebenen Länge in einem gegebenen Winkel auf das Gelenk ausgeübt wird.

und Interventionsformen unterschiedliche Ergebnisse erheben. So konnten Ferreira-Junior et al. (2015) nach einmaliger WBC-Intervention keine Auswirkungen einer WBC auf ein Sprungkrafttraining beobachten, während Hohenauer et al. (2020) bei gleichen Bedingungen positive Effekte durch Kälteanwendung dokumentieren konnten. Einige Studien beschreiben ebenfalls, dass je nach Fitnesslevel und Muskel- bzw. Fettanteil die Kälteintervention unterschiedlich anspricht (Śliwicka et al., 2020; Klemm et al., 2021; Broatch et al., 2019). So konnten Jaworska et al. (2020) bei untrainierten Student/innen positive Effekte auf die MVIC, die Kraft, die Entzündungsparameter und den Muskelkater beschreiben. Ebenfalls spielt der Placeboeffekt und der Wirkungsglaube eine große Rolle in der Kältetherapie (Wilson et al., 2018; Bouzigon et al., 2021), genauso wie die individuelle Komponente. Einige Personen können eine ausgeprägtere Reaktion auf eine Kältestimulation (z. B. Thermogenese) haben als andere und daher eine unterschiedliche, molekulare und adaptive Reaktion auf die WBC nach dem Training zeigen (Broatch et al., 2019).

Auch wenn nicht alle Studien einen positiven Effekt von Kältebehandlungen auf die Leistungsfähigkeit nachweisen können, so zeigt dieses systematische Review auch, dass die WBC-Intervention nach sportlicher Belastung in den meisten Fällen im Trainingsprozess einfließen kann, ohne negative Auswirkungen zu haben.

Die meisten vorgehenden Studien, die negative Auswirkungen von Kältetherapien auf die Regenerations- und Leistungsfähigkeit beobachteten, waren meist Interventionen mit Kältebädern oder Kältekompressionen und waren nicht auf Kältekammern bzw. Kryosaunen fokussiert (siehe Review von Hyldahl & Peake, 2020; Meyer et al., 2016). Jedoch wurden auch dort verschiedene Ergebnisse und widersprüchliche Ergebnisse erhoben, wobei die aktuelle Datenlage sich eher dazu ausspricht, dass CWI sich negativ auf Muskelhypertrophie und Proteinsynthese auswirken kann.

Der Großteil der analysierten Studien wurde zumindest eine Komponente durch die WBC positiv beeinflusst. Vor allem über mehrere Tage andauernde Interventionen konnten positive Effekte in manche Komponenten der Leistungsfähigkeit (Fonda & Sarabon, 2013; Schaal et al., 2015; Ziemann et al., 2012), des Muskelschmerzes (Fonda & Sarabon, 2013), der Schlafqualität (Schaal et al., 2015; Douzi et al., 2019) und der körpereigenen Abwehrkräfte (Hauswirth et al., 2011) erzielen. Hirvonen et al. (2006) beobachteten, dass eine Ganzkörper-Kryostimulation, die dreimal täglich über sieben Tage angewendet wurde, ebenfalls sehr wirksam bei der Verringerung des Entzündungsprozesses bei Patienten mit

rheumatoider Arthritis war. Jaworska et al. (2021) konnten ebenfalls nach mehrtägigen WBC positive Effekte in sportspezifische Fertigkeiten bei Judokämpfern und auf die Muskelkraft beschreiben.

Auffällig war, dass Kältebehandlungen bei Marathonläufern sich negativ auf verschiedene Parameter der Leistungsfähigkeit und der Regeneration auswirkten. Deshalb kann man davon ausgehen, dass sich WBC-Interventionen besser nach moderatem und submaximalem Training auswirken als bei extremen maximalen Leistungen. Jedoch ist die Datenlage hier noch zu gering, um sichere und konkrete Anwendungsempfehlungen geben zu können.

Sicher wirksame Anwendungsempfehlungen sind bei Kälteinterventionen mit Vorsicht zu geben, denn die verschiedenen Ergebnisse der Studien veranschaulichen wie wichtig es ist individuelle Komponenten, wie Körperzusammensetzung, Geschlecht, Trainingsstatus, Alter, Hauttyp und die Reaktionsfähigkeit zu berücksichtigen (Bouzigon et al., 2021). Eine optimale Wirkung der WBC-Kältetherapie ist nur im Rahmen eines gut durchdachten therapeutischen Gesamtkonzepts möglich (Papenfuß, 2005).

Bei der Analyse der Studien, lässt sich erkennen, dass WBC-Interventionen in Trainingscamps, wo Sportler/innen mehrere Trainings am Tag absolvieren, aber auch nach submaximalen bzw. maximalen HIT-Trainings die Leistungs- und Regenerationsfähigkeit positiv beeinflussen können. Am besten spricht sich die Literatur die Kältetherapie entweder drei Stunden vor dem Training oder 30 Minuten bis eine Stunde nach dem Training für mindestens 2,30 Minuten Kältereiz an (Bouzigon et al., 2021). Die WBC hat bessere Wirkungseffekte bei einem geringeren Körperfettanteil der Patient/innen, wodurch Männer möglicherweise mehr davon profitieren können. Jedoch ist hier noch einmal zu erwähnen, dass sich noch zu wenige Studien mit dieser Thematik beschäftigt haben, um wirklich aussagekräftige Anwendungsempfehlungen geben zu können (Bouzigon et al., 2021).

### **Limitationen**

Die 23 ausgewählten Studien wurden mit Hilfe des Risikos of Bias auf Qualität bewertet. Nur vier davon konnten die Teilnehmer/innen blinden, wobei selbst hier die Blindung nicht hundertprozentig garantiert war. Der Grund dafür ist, dass sich die Teilnehmer/innen in den WBC-Kabinen bei 15-21°C anstatt bei -110°C befanden. In keiner der Studien war der Prüfer/die Prüferin geblindet. Eine weitere Limitation war, dass im Großteil aller Studien ausschließlich Männer untersucht wurden und deshalb aussagekräftige Ergebnisse über Frauen zur WBC-Intervention kaum vorliegen.

In der Recherche wurden außerdem alle Studien miteinbezogen, die WBC- oder PBC-Interventionen durchführten, ohne eine Unterscheidung zwischen Kältekammern und Kryosaunen zu machen. Weiters gab es eine Einschränkung, indem nur aktuelle Studien der letzten 10 Jahre (2012-2022) in der Analyse berücksichtigt wurden. Es wurden nur Studien aus der Datenbank PubMed ausgewählt und von dort anhand der Literaturverzeichnisse weitere relevante Studien herangezogen. Ebenfalls wurde die Auswahl der Studien von einer einzelnen Person getroffen.

Bei den erhobenen Ergebnissen wurden in den analysierten Studien sehr viele unterschiedliche Ergebnisse beobachtet. Oft analysierten nur einige wenige Studien die gleichen Parameter, wodurch bei den erhobenen Ergebnissen die Eindeutigkeit abnimmt.

## Conclusio

Durch die WBC über 2,5 Minuten kommt es zu einer Körpertemperatursenkung, was zu einer Aktivierung von verschiedenen parasympathischen Prozessen führen kann. Es kann eine analgetische Wirkung erzeugt werden, die den Zellstoffwechsel angeregt und die Schaltqualität verbessern kann. Jedoch kann der extremen Kältereiz auch negative Stressreaktion hervorrufen und die Nervenleitung abschwächen, was sich negativ auf den Körper und die Leistungsfähigkeit auswirken kann. Die maximale Sauerstoffaufnahme während der Aktivität und die Herzfrequenz konnten auf submaximalen Ebenen in mehreren Studien verringert werden, was für eine erhöhte Arbeitsökonomie, effizientere Funktion des kardiorespiratorischen Systems hindeuten könnte. Durch abendliches Training werden der Sympathikus und die HPA angeregt und könnte somit die Schlaflatenz negativ beeinflussen. Die WBC kann die parasympathische Aktivität anregen, was die HVR senken und sich positiv auf den Schlaf auswirken kann. So konnten mehrere Studien zeigen, dass sich eine WBC positiv auf die Schlafqualität auswirkt.

Der Großteil der analysierten Studien konnte positive Wirkungen auf den Muskelkater und den Muskelschmerz nach intensivem Training und anschließender Kälteexposition beobachten, was sich positiv auf die Muskelfunktion, die Gelenksmechanik, die Schlafqualität und das Wohlbefinden auswirken kann. Die WBC wirkt sich besser bei Muskelschwellung und Muskelsauerstoffsättigung bei Patient/innen mit geringeren Fettanteil aus als bei Personen mit erhöhten Fettwerten. Die Laktatwerte konnten in den meisten Studien durch eine WBC nicht beeinflusst werden. In drei Studien konnte jedoch eine positive Korrelation zwischen Laktat Clearance und einer WBC beschrieben werden,

was die Ermüdungsresistenz positiv beeinflussen kann. Der CK-Wert scheint durch mehrtägige WBC-Intervention positiv beeinflusst zu werden zu können. Bei den CRP, IL-6, TNF- $\alpha$  Werten konnten keine eindeutigen Ergebnisse erhoben werden. In manchen Studien führte eine WBC zu einer Verbesserung der Werte, was für eine entzündungshemmende Wirkung der WBC spricht. Während keine eindeutigen Auswirkungen der WBC auf das Cortisol festgestellt werden konnten, führte die WBC zu einem Testosteronanstieg, was sich positiv auf den Muskelwachstum und die Trainingsmotivation auswirken könnte.

Bei der Leistungsfähigkeit konnten positive Effekte von der WBC auf die exzentrische Kraftleistungen, die Schlageffizienz beim Tennis und bei der Schwimmgeschwindigkeit festgestellt werden. Auch der maximale Drehmoment, die Sprungkraft und die Sprunghöhe konnten bei den meisten Studien durch eine WBC verbessert werden.

Zusammenfassend lässt sich durch die vorliegende Literaturrecherche vermuten, dass eine WBC nach sportlicher Belastung kaum negative Effekte auf den Körper hat, ausgenommen die Behandlung nach extremen Belastungen, wie z. B. bei einem Marathon. Hier kann sich eine WBC-Intervention nach der Belastung negativ auf den Regenerationsprozess und die Leistungsfähigkeit auswirken.

Insgesamt schien die tägliche Anwendung einer Ganzkörperkältetherapie über einen gewissen Zeitraum, wie beispielsweise in Trainingscamps, gute Erfolge erzielen. Aber auch einmalige WBC-Sitzungen konnten sich positiv auf beispielweise Testosteron oder die Schlafqualität auswirken. Anwendungsempfehlungen sind individuell zu betrachten.

## Literatur:

Aumüller, G. et al. (2017). *Duale reihe Anatomie*. Thieme, Stuttgart 2017.

Banfi G, Melegati G, Barassi A, Dogliotti G, Melzi d'Eril G, Dugué B, Corsi MM (2009). Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *Journal of Thermal Biology* 34(2): 55–59.

Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G. (2010). Whole-Body Cryotherapy in Athletes. *Sports Med* 40(6): 509–517.

Bleakley CM , Costello JT , Glasgow PD (2012). Should athletes return to sport after applying ice? A systematic review of the effect of local cooling on functional performance . *Sports Med* 42 : 69 – 87.

Broatch JR, Poignard M, Hausswirth C, Bishop DJ, Bieuzen F (2019). Whole-body cryotherapy does not augment adaptations to high-intensity interval training. *Sci Rep* 19;9(1):12013.

Chaoyi Qu, Wu Z, Xu M, Qin F, Dong Y, Wang Z, Zhao J (2020). Cryotherapy Models and Timing-Sequence Recovery of Exercise-Induced Muscle Damage in Middle- and Long-Distance Runners. *J Athl Train* 55(4):329-335.

Cheung K, Hume P, Maxwell L. (2003). Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Med* 33: 145-164.

Costello JT, Algar LA, Donnelly AE. (2012). Effects of whole-body cryotherapy (-110 °C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 22(2):190-198.

Costello JT, Baker PR, Minett GM, Bieuzen F, Stewart IB, Bleakley C (2016). Cochrane review: whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Journal of Evidence-Based Med* 9(1): 43–44.

De Nardi M, La Torre A, Benis R, Sarabon N, Fonda B (2015). Acute effects of whole-body cryotherapy on sit-and-reach amplitude in women and men. *Cryobiology* 71(3):511-513.

Douzi W, Dupuy O, Tanneau M, Boucard G, Bouzigon R, Dugué B (2019). 3-min whole body cryotherapy/cryostimulation after training in the evening improves sleep quality in physically active men. *Eur J Sport Sci* 19(6): 860-867.

Ferrauti A, Remmert H (2003). The effects of creatine supplementation: A review with special regards to ballgames. *Eur J Sport Sci* 3: 81–107.

Ferreira-Junior JB, Vieira CA, Soares SR, Guedes R, Rocha Junior VA, Simoes HG, Brown LE, Bottaro M (2014a). Effects of a single whole body cryotherapy (-110°C) bout on neuromuscular performance of the elbow flexors during isokinetic exercise. *Int J Sports Med* (14):1179-83.

Ferreira-Junior JB, Bottaro M, Vieira CA, Soares SR, Vieira A, Cleto VA, Cadore EL, Coelho DB, Simoes HG, Brown LE (2014b). Effects of partial-body cryotherapy (- 110°C) on muscle recovery between high-intensity exercise bouts. *Int J Sports Med* 35(14):1155-60.

- Ferreira-Junior JB, Bottaro M, Vieira A, Siqueira AF, Vieira CA, Durigan JLQ, Cadore EL, Coelho LGM, Simões HG, Bembem MG (2015). One session of partial-body cryotherapy (-110 °C) improves muscle damage recovery. *Scand J Med Sci Sports* 25: 524–530.
- Fonda B, Sarabon N (2013). Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study. *Scand J Med Sci Sports* 23(5):e270-8. doi: 10.1111/sms.12074. Epub 2013 Apr 25. PMID: 23614691.
- Grasso D, Lanteri P, Di Bernardo C, Mauri C, Porcelli S, Colombini A, Zani V, Bonomi FG, Melegati G, Banfi G, Lombardi G. Salivary steroid hormone response to whole-body cryotherapy in elite rugby players. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2014 Apr-Jun;28(2):291-300.
- Haq A, Ribbans WJ, Hohenauer E and Baross AW (2022). The Effect of Repetitive Whole Body Cryotherapy Treatment on Adaptations to a Strength and Endurance Training Programme in Physically Active Males. *Front. Sports Act. Living* 4:834386
- Hauswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filliard JR, Brisswalter J (2011). Effects of whole-body cryotherapy vs far-infrared vs passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS ONE* 6 (12): 27749.
- Herz M (2016). Im Bikini bei minus 110 Grad Celsius – mein Kältekammer-Experiment. <https://m.thieme.de/viamedici/klinik-faecher-allgemeinmedizin-1528/a/das-kaeltekammer-experiment-31748.htm> (22.01.23)
- Hirvonen HE, Mikkelsson MK, Kautiainen H, Pohjolainen TH, Leirisalo-Repo M (2006). Effectiveness of different cryotherapies on pain and disease activity in active rheumatoid arthritis: a randomised single blinded controlled trial. *Clin Exp Rheumatol* (3):295– 301.
- Hohenauer E, Costello JT, Deliens T, Clarys P, Stoop R, Clijsen R (2019). Partial-body cryotherapy (-135°C) and cold-water immersion (10°C) after muscle damage in females. *Scand J Med Sci Sport* 30(3):485-495.
- Hyldahl RD, Peake JM (2020). Combining cooling or heating applications with exercise training to enhance performance and muscle adaptations. *J. Appl. Physiol* 129: 353–365.
- Jaworska J, Rodziewicz-Flis E, Kortas J, Kozłowska M, Micielska K, Babinska A, et al. (2020). Short-term resistance training supported by whole-body cryostimulation induced a decrease in myostatin concentration and an increase in isokinetic muscle strength. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17:155496.
- Kindermann W (2016). Kreatininkinase-Wert nach Sport. *Dtsch Arztebl* 113/19: 344-345
- Klemm P, Becker J, Aykara I, Asendorf T, Dischereit G, Neumann E, Müller-Ladner U, Lange U (2021). Serial whole-body cryotherapy in fibromyalgia is effective and alters cytokine profiles. *Adv Rheumatol* 13;61(1):3.
- Kojima C, Kasai N, Kondo C, Ebi K, Goto K (2018). Post-Exercise Whole Body Cryotherapy (-140 °C) Increases Energy Intake in Athletes. *Nutrients*. 10(7):893.
- Krüger M, Costello JT, Achtzehn S, Dittmar KH, Mester J (2019). Whole-body cryotherapy (-110 °C) following high-intensity intermittent exercise does not alter hormonal, inflammatory or muscle damage biomarkers in trained males. *Cytokine* 113:277-284.

- Krüger M, de Mareés M, Dittmar KH, Sperlich B, Mester J (2015). Whole-body cryotherapy's enhancement of acute recovery of running performance in well-trained athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 5:605-612.
- Lautenbacher S, Kundermann B, Krieg JC (2006). Sleep deprivation and pain perception. *Sleep Medicine Reviews* 10(5): 357–369.
- Le Meur Y, Louis J, Schaal K, Bieuzen F, Filliard JR, Brisswalter J, et al. (2017). Whole-body cryotherapy multi exposures speed up performance supercompensation during the taper in functionally overreached endurance athletes. *Sport Perform Sci Rep* 1: 1–2.
- Leppäluoto J, Westerlund T, Huttunen P, Oksa J, Smolander J, Dugué B, Mikkelsen M (2008). Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 68(2): 145–153.
- Louis, Theurot D, Filliard J.-R, Volondat M, Dugué B, Dupuy O (2020). The use of whole-body cryotherapy: time- and dose-response investigation on circulating blood catecholamines and heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology* 120(8): 1733–1743.
- Lothar T (2022). Labor und Diagnose. <https://www.labor-und-diagnose.de/index.html> (22.01.23).
- Lubkowska A, Szygula Z, Chlubek D, Banfi G (2011). The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 71: 419–425.
- Machado AF, Ferreira PH, Micheletti JK, de Almeida AC, Lemes ÍR, Vanderlei FM, Pastre CM (2016). Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 46(4):503–514.
- Mawhinney C, Low DA, Jones H, Green DJ, Costello JT, Gregson W. Cold Water Mediates Greater Reductions in Limb Blood Flow than Whole Body Cryotherapy. *Med Sci Sports Exerc.* 2017 Jun;49(6):1252-1260.
- Meyer, Ferrauti, Kellmann, Pfeiffer, Paula Simolade, Döweling, Endler, Hecksteden, Hitzschke, Kölling, Pelka, Poppendieck, Raeder, Rasche, Schimpchen, Schneider, Skorski, Sperlich, Wegmann, Wiewelhove (2016). Regenerationsmanagement im Spitzensport: REGman - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen. Sportverlag Strauß, Köln.
- Mila-Kierzenkowska C, Jurecka A, Woźniak A, Szpinda M, Augustyńska B, Woźniak B. The effect of submaximal exercise preceded by single whole-body cryotherapy on the markers of oxidative stress and inflammation in blood of volleyball players. *Oxid Med Cell Longev.* 2013
- Morgan DL (1990). New insights into the behavior of muscle during active lengthening. *Biophys J* 57: 209 – 221.

- Mourot L, Bouhaddi M, Gandelin E, Cappelle S, Dumoulin G, Wolf JP, et al. (2008). Cardiovascular autonomic control during short-term thermoneutral and cool head-out immersion. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 79(1): 14–20.
- Muñoz-Cánoves P, Scheele C, Pedersen BK, Serrano AL (2013). Interleukin-6 myokine signaling in skeletal muscle: a double-edged sword? *FEBS J.* 280(17):4131-48.
- Neric FB, Beam WC, Brown LE, Wiersma LD (2009). Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *J. Strength Cond. Res.* 23(9): 2560–2567.
- NHMRC (2019). Richtlinien für Leitlinien: Bewertung des Risikos von *Bias*. <https://nhmrc.gov.au/guidelinesforguidelines/develop/assessing-risk-bias>. (22.01.23).
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. [https://www.prisma-statement.org/documents/PRISMA\\_2020\\_checklist.pdf](https://www.prisma-statement.org/documents/PRISMA_2020_checklist.pdf) (22.01.23).
- Papenfuß (2005). Die Kraft aus der Kälte : Ganzkörperkältetherapie bei -110 Celsius; eine physikalische Kurzzeittherapie mit Langzeitwirkung (1. Aufl.). Ed. K. Regensburg.
- Piras A, Campa F, Toselli S, Di Michele R, Raffi M (2019). Physiological responses to partial-body cryotherapy performed during a concurrent strength and endurance session. *Appl Physiol Nutr Metab* 44(1):59-65.
- Platen M (1907). Die Neue Heilmethode (Neubearbeitung). Deutsches Verlagshaus Bong u Co. Berlin. Leipzig. Wien. Stuttgart.
- Raeder C, Vuong JL, Ferrauti A (2020). Krafttraining In: Ferrauti (Hrsg). Trainingswissenschaft für die Sportpraxis. Springer: Berlin.
- Röcker L, Kiesewetter H (2022). Einfluss körperlicher Leistung auf Laborbefunde. Labor und Diagnose | Kapitel 51: Einfluss körperlicher Leistung auf Laborbefunde (labor-und-diagnose.de)
- Russell M, Birch J, Love T, Cook CJ, Bracken RM, Taylor T, Swift E, Cockburn E, Finn C, Cunningham D, Wilson L, Kilduff LP (2017). The Effects of a Single Whole-Body Cryotherapy Exposure on Physiological, Performance, and Perceptual Responses of Professional Academy Soccer Players After Repeated Sprint Exercise. *J Strength Cond Res* 2: 415-421.
- Schaal K, Le Meur Y, Bieuzen F, Petit O, Hellard P, Toussaint JF, Hausswirth C (2013). Effect of recovery mode on postexercise vagal reactivation in elite synchronized swimmers. *Appl Physiol Nutr Metab* 38(2):126-133.
- Schaal K, LE Meur Y, Louis J, Filliard JR, Hellard P, Casazza G, Hausswirth C (2015). Whole-Body Cryostimulation Limits Overreaching in Elite Synchronized Swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 47(7):1416-25.
- Schroth C (2022). 4 Schritte, um Schmerzen und Beschwerden zu beschreiben. <https://www.activephysio.at/lexikon/schmerzen-beschreiben.html> (23.01.23).

- Selfe J, Alexander J, Costello JT, May K, Garratt N, Atkins S, Richards J, et al. (2014). The effect of three different (-135 °C) whole body cryotherapy exposure durations on elite rugby league players. *PLoS One* 9(1):e86420.
- Stanek A, Sieroń-Stołtny K, Romuk E, Cholewka A, Wielkoszyński T, Cieślak G, Kwiatek S, Sieroń A, Kawczyk-Krupka A (2016). Whole-Body Cryostimulation as an Effective Method of Reducing Oxidative Stress in Healthy Men. *Adv Clin Exp Med* 25(6):1281-1291.
- Stein PK, Pu Y (2012). Heart rate variability, sleep and sleep disorders. *Sleep Medicine Reviews* 16(1): 47–66.
- Szabo M (1986). TRH and GRF stimulate release of growth hormone through different mechanisms. *Am J Physiol* 50(5): 512-517.
- Szczepańska-Gieracha J, Borsuk P, Pawik M, Rymaszewska J (2014). Mental state and quality of life after 10 session whole-body cryotherapy. *Psychol Health Med* 19(1): 40-6.
- Thau L, Gandhi J, Sharma S (2022). Physiology, Cortisol. *StatPearls*.
- Ückert S (2011). *Temperatur und sportliche Leistung*. Meyer & Meyer, Aachen.
- Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 513: 295–305.
- Vieira A, Oliveira AB, Costa JR, Herrera E, Salvini TF (2013). Cold modalities with different thermodynamic properties have similar effects on muscular performance and activation. *Int J Sports Med* 34(10): 873–880.
- Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Junior JB, Vieira C, Cleto VA, Cadore EL, Simoes HG, Carmo JD, Brown LE (2015). Does whole-body cryotherapy improve vertical jump recovery following a high-intensity exercise bout? *Journal of Sports Medicine* 6: 49-54.
- Walker O (2016). RATE OF FORCE DEVELOPMENT (RFD). <https://www.scienceforsport.com/rate-of-force-development-rfd-2/> (23.01.23).
- Wiewelhove T (2020). Regenerationsmanagement und Ernährung. In: Ferrauti, Alexander (Hg). *Trainingswissenschaft für die Sportpraxis*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Wilson, LJ, Cockburn, E., Paice, K. et al. (2018). Recovery following a marathon: a comparison of cold water immersion, whole body cryotherapy and a placebo control. *Eur J Appl Physiol* 118: 153–163.
- Wilson LJ, Dimitriou L, Hills FA, Gondek MB, Cockburn E (2019). Whole body cryotherapy, cold water immersion, or a placebo following resistance exercise: a case of mind over matter? *Eur J Appl Physiol* 119(1):135-147.
- Wozniak, A, Wozniak, B, Drewa, G, Mila-Kierzenkowska, C, and Rakowski, A (2007). The effect of whole-body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training. *Eur J Appl Physiol* 100: 137–142.
- Zalewski P, Bitner A, Słomko J, Szrajda J, Klawe JJ, Tafil-Klawe M, Newton JL (2014). Whole-body cryostimulation increases parasympathetic outflow and decreases core body temperature. *Journal of Thermal Biology*, 45: 75–80.

Zembron-Lacny A, Morawin B, Wawrzyniak-Gramacka E, Gramacki J, Jarmuzek P, Kotlega D, Ziemann E (2020). Multiple Cryotherapy Attenuates Oxi-Inflammatory Response Following Skeletal Muscle Injury. *Int J Environ Res Public Health*. 17(21):7855.

Ziemann E, Olek RA, Kujach S, Grzywacz T, Antosiewicz J, Garsztka T, Laskowski R (2012). Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *J Athl Train* 47(6):664-72.

### **Internetquellen:**

[Inserat - LifeCube® - elektrische Kältekammer | Individuell | Sicher | Made in Germany \(fitnessmarkt.de\)](https://www.fitnessmarkt.de) (24.02.23)

[Kältesauna - Wellness im Markgräflerland im Südschwarzwald \(fini-resort-badenweiler.de\)](https://www.fini-resort-badenweiler.de) (24.02.23)

<https://www.akademie-sport-gesundheit.de/files/media/asg/bilder/magazin/Superkompensation.JPG> (24.02.23)

## Anhang

Risiko der Verzerrung der inkludierten Studien													
Studien		Gesamt-Score (11)	Qualitätskriterien (PEDro Skala 1999) <sup>20</sup>										
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Broatch et al. (2019)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
2	Chaoyi et al. (2020)	6	JA	NEIN	K.A.	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
3	Costello et al. (2012)	9	JA	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
4	Douzi et al. (2018)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
5	Ferreira-Junior et al. (2014a)	9	JA	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
6	Ferreira-Junior et al. (2014b)	9	JA	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
7	Ferreira-Junior et al. (2015)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
8	Fonda, Sarabon (2013)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
9	Haq et al. (2021)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
10	Hohenauer et al. (2020)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
11	Kojima et al. (2018)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
12	Krüger et al. (2015)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
13	Krüger et al. (2018)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
15	Mila-Kierzenkowska et al. (2013)	6	JA	NEIN	NEIN	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
16	Russell et al. (2017)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
17	Schaal et al. (2013)	9	JA	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
18	Schaal et al (2015)	7	JA	JA	K.A.	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA

<sup>20</sup> [Microsoft Word - PEDro\\_scale\\_german.doc](#)

19	Vieira et al. (2015)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
20	Wilson et al. (2018)	9	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
21	Wilson et al. (2019)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
22	Zembron-Lacny et al. (2020)	8	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
23	Ziemann et al. (2012)	7	JA	JA	KA	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA