

Aus dem Institut für Experimentelle Medizin
Sprecher des Direktoriums: Prof. Dr. Andreas Tholey
im Universitätsklinikum Schleswig- Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Aufenthalt im kühlen Wasser – Einfluss der Körperkernabkühlung auf den kalori- schen Energieumsatz und die Motorik der Nasenschleimhaut

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Beata Schmidt

aus Hatton/Sri Lanka

Kiel 2016

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Andreas Koch, Institut für Experimentelle Medizin/Sektion Maritime Medizin

2. Berichterstatter: Prof. Dr. B. Weisser, Institut für Sport und Sportwissenschaften

Tag der mündlichen Prüfung: 26.06.2017

meinem Lebenspartner Volker
und meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	x
Verzeichnis der Abkürzungen und Sonderzeichen.....	xiv
1 Einleitung	1
1.1 Fragestellung der Studie	2
1.1.1 Einzelfragestellungen der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe).....	2
1.1.2 Einzelfragestellungen der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	3
1.2 Theoretischer Hintergrund der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)	3
1.2.1 Thermoregulation bei Kälte	3
1.3 Theoretischer Hintergrund der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)....	4
1.3.1 Regulation der Nasenschleimhautmotorik	4
1.3.2 Entwicklung der Rhinologischen Diagnostik.....	6
1.3.3 Entwicklung von Barotraumen.....	7
1.3.4 Barotrauma beim Abtauchen.....	7
1.3.5 Barotrauma beim Auftauchen (inverses Barotrauma)	7
2 Material und Methoden.....	9
2.1 Probandenauswahl.....	9
2.1.1 Einschlusskriterien der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	9
2.1.2 Ausschlusskriterien der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	9
2.1.3 Ausschlusskriterien der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)	10
2.2 Beschreibung der Kollektive der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)	10
2.2.1 Voruntersuchungen der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe).....	10
2.2.2 Voruntersuchungen der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	10

2.2.3	Versuchsdurchführung der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	11
2.3	Untersuchungsmethoden der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe).....	12
2.3.1	Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA).....	12
2.3.2	Körperfettmasse, Body Fat (BF).....	13
2.3.3	Body Mass Index (BMI).....	14
2.3.4	Grundlagen der indirekten Kalorimetrie.....	14
2.3.5	Ruheenergieverbrauch (REE).....	15
2.3.6	Spirometrie.....	15
2.3.7	Körperkerntemperatur (rektale Temperatur).....	15
2.3.8	Befindlichkeitsskala Kälte/Hunger.....	16
2.3.9	Laborparameter.....	16
2.4	Untersuchungsmethoden der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)...	17
2.4.1	Akustische Rhinometrie (ARM).....	17
2.4.2	Rhinoresistometrie (RRM).....	19
2.4.3	Datenverarbeitung.....	20
3A	Ergebnisse der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe).....	21
3.1	Verweildauer im Kaltwasserbad.....	21
3.1.1	Unterschied der durchschnittlichen rektalen Temperatur innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1, T1/T2, T2/T3, T0/T3).....	21
3.1.2	Unterschied der durchschnittlichen rektalen Temperatur zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1, T2/T2, T3/T3).....	22
3.1.3	Korrelation des Body Mass Index mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur.....	23
3.1.4	Korrelation der Fettmasse mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur.....	24
3.1.5	Korrelation des Body Mass Index mit der durchschnittlichen Verweildauer im Kaltwasserbad.....	24

3.1.6	Korrelation der Fettmasse mit der durchschnittlichen Verweildauer im Kaltwasserbad	24
3.2	Sauerstoffaufnahme (VO ₂ ml/min.)	25
3.2.1	Unterschied der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2).....	25
3.2.2	Einfluss der Fettmasse auf die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T1/T2).....	26
3.3	Energieverbrauch (kcal/min.).....	28
3.3.1	Unterschied des durchschnittlichen Energieverbrauchs zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2).....	28
3.4	Ventilation (VE l/min.).....	29
3.4.1	Unterschied der durchschnittlichen Ventilation zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2).....	29
3.4.2	Einfluss der Fettmasse auf die durchschnittliche Ventilation innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T1/T2).....	29
3.5	Respiratorischer Quotient (RQ)	30
3.5.1	Unterschied des durchschnittlichen RQ zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2).....	30
3.6	Lipidstoffwechsel	31
3.6.1	Freie Fettsäuren	31
3.6.2	Triglyceride.....	33
3.7	Kohlenhydratstoffwechsel.....	34
3.7.1	Glucose	34
3.8	Laktat.....	35
3.8.1	Unterschied der durchschnittlichen Laktatkonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1).....	35

3.8.2	Unterschied der durchschnittlichen Laktatkonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1).....	36
3.9	Cortisol.....	36
3.9.1	Unterschied der durchschnittlichen Cortisolkonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1)	36
3.9.2	Unterschied der durchschnittlichen Cortisolkonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0), (T1/T1).....	36
3.10	Schilddrüsenwerte (FT3, FT4, TSH)	37
3.10.1	Unterschied der durchschnittlichen Schilddrüsenwertkonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1, T1/T2).....	37
3.10.2	Unterschied der durchschnittlichen Schilddrüsenwertkonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1).....	38
3.11	Kälteempfinden	38
3.12	Hungerempfinden.....	39
3.13	Statistische Auswerteverfahren.....	39
3B	Ergebnisse der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	40
3.1	Rektale Temperatur	40
3.1.1	Unterschied der durchschnittlichen rektalen Temperatur innerhalb des Verumversuchs zwischen den Phasen (T0/T1, T1/T2, T0/T2)	40
3.1.2	Korrelation des Body Mass Index mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur.....	41
3.1.3	Korrelation des Body Mass Index mit der Verweildauer im Kaltwasserbad.....	42
3.2	Akustische Rhinometrie (ARM)	42
3.2.1	MCA ₂ (minimal cross-sectional area)	42
3.3	Rhinoresistometrie (RRM).....	44
3.3.1	Nasaler Durchmesser (Nasaler Diameter)	44

3.3.2	Nasaler Atemwiderstand (Resistance)	46
3.3.3	Reibungskoeffizient λ (Turbulence Trigger)	48
4	Diskussion	50
4.1	Diskussion der Fragestellungen in der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe).....	50
4.2	Diskussion der Methodik	51
4.2.1	Versuchsdurchführung in der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)	51
4.3	Diskussion der Ergebnisse der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)	52
4.3.1	Rektale Temperatur.....	52
4.3.2	Korrelation des Body Mass Index und der Fettmasse mit der rektalen Temperatur	53
4.4	Diskussion der Ergebnisse der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe).....	54
4.4.1	Sauerstoffaufnahme	54
4.4.2	Energieverbrauch	55
4.4.3	Ventilation.....	56
4.4.4	Respiratorischer Quotient.....	56
4.4.5	Lipidstoffwechsel	57
4.4.6	Kohlenhydratstoffwechsel.....	58
4.4.7	Hormonstoffwechsel	59
4.4.8	Kälteempfinden	61
4.4.9	Hungerempfinden.....	62
4.5	Diskussion Gruppe 2 (Rhinoresistometrie).....	63
4.5.1	Diskussion der Methodik: Akustische Rhinometrie (ARM) und Rhinoresistometrie (RRM)	63
4.5.2	Diskussion der Ergebnisse: Akustische Rhinometrie und Rhinoresistometrie.....	63
4.5.3	Validität der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie	65

4.5.4	Korrelation der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie mit der rektalen Temperatur.....	65
4.5.5	Limitation der Untersuchungen	66
5	Zusammenfassung und Ausblick	67
6	Literaturverzeichnis	70
	Anhang A: Studienmaterialien.....	II
	Anhang B: Stichprobendaten	VIII
	Eidesstattliche Erklärung	XI
	Danksagung	XII
	Lebenslauf.....	XIII

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

- Abbildung 1.** Schematischer Untersuchungsablauf der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe): Verumversuch mit Kaltwasserexposition und Wiedererwärmungsphase versus Kontrollversuch mit Scheinexposition und Wiedererwärmungsphase. Schematischer Untersuchungsablauf der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe): Verumversuch mit Kaltwasserexposition und Wiedererwärmungsphase.....12
- Abbildung 2.** Akustische Rhinometrie der Fa. RhinoMetrics, Interacoustics A/S, 5610 Assens, Dänemark.....18
- Abbildung 3.** Rhinoresistometrische Messung mit dem Gerät Rhinostream der Fa. RhinoMetrics, Interacoustics A/S, 5610 Assens, Dänemark.....19
- Abbildung 4a.** Verlauf der durchschnittlichen rektalen Körpertemperatur (°C) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0/T1 = vor dem Versuch/nach dem Versuch, T1/T2 = nach dem Versuch/nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase, T0/T3 = vor dem Versuch/ nach der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur..22
- Abbildung 4b.** Verlauf der durchschnittlichen rektalen Körpertemperatur (°C) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0/T0 = vor dem Versuch, T1/T1 = nach dem Versuch, T2/T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase, T3/T3 = nach der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.....23
- Abbildung 5.** Verlauf der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme (ml/min.) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0 = Gesamtheit der Probanden vor dem Versuch (Ruheenergieverbrauch), T1 = während des Versuchs, T2 = während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.....26

- Abbildung 6.** Verlauf des durchschnittlichen Energieverbrauchs (kcal/min.) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0 = Gesamtheit der Probanden vor dem Versuch (Ruheenergieverbrauch), T1 = während des Versuchs, T2 = während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur. 28
- Abbildung 7.** Verlauf des durchschnittlichen respiratorischen Quotienten in den Verum- und Kontrollphasen. T1 = während des Versuchs, T2 = während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen..... 31
- Abbildung 8.** Verlauf der durchschnittlichen freien Fettsäurekonzentration (mmol/l) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur. 32
- Abbildung 9.** Verlauf der durchschnittlichen Triglyceridkonzentration (mg/dl) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur. 33
- Abbildung 10.** Verlauf der durchschnittlichen Glucosekonzentration (mg/dl) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur. 34
- Abbildung 11.** Verlauf der durchschnittlichen Laktatkonzentration (mmol/l) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1= nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur. 35
- Abbildung 12.** Verlauf der durchschnittlichen rektalen Körpertemperatur (°C) in der Verumphase. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur. 41

Abbildung 13. Verlauf der durchschnittlichen MCA2 (cm ²) in der Verumphase. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$.	43
Abbildung 14. Verlauf des durchschnittlichen nasalen Durchmessers (mm) in den Verumphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$.	45
Abbildung 15. Verlauf des durchschnittlichen nasalen Atemwiderstandes bei einem Atemfluss von 250 ml/s (Pa s/ml) in den Verumphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$.	46
Abbildung 16. Verlauf des durchschnittlichen Reibungskoeffizienten λ (1/1000) in den Verumphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$; ***: $p \leq .001$.	48
Tabelle 1. Untersuchungsablauf der Gruppe 1 (Verumversuch mit Kaltwasserexposition/Kontrollversuch mit Scheinexposition) und Gruppe 2 mit Kaltwasserexposition	11
Tabelle 2. Abhängigkeit der durchschnittlichen Verweildauer (min.) von der Fettmasse während der Kaltwasserexposition	25
Tabelle 3. Abhängigkeit der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme (ml/min.) von der Fettmasse in den Verum- und Kontrollphasen	27
Tabelle 4. Durchschnittliche Ventilation (l/min.) in den Verum- und Kontrollphasen	29

Tabelle 5. Abhängigkeit der durchschnittlichen Ventilation (l/min.) von der Fettmasse in den Verum- und Kontrollphasen	30
Tabelle 6. Verlauf der durchschnittlichen Cortisolkonzentration (µg/dl) in den Verum- und den Kontrollphasen	36
Tabelle 7. Verlauf der durchschnittlichen Schilddrüsenwerte (TSH mU/l, FT3 ng/l, FT4 ng/dl) in den Verum- und den Kontrollphasen	38
Tabelle 8. Abhängigkeit der durchschnittlichen Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) von dem Body Mass Index (in Klassen)	42
Tabelle 9. Korrelation der durchschnittlichen MCA_2 (cm ³) vor dem Versuch (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m ²), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Temperatur (°C).....	44
Tabelle 10. Korrelation des durchschnittlichen nasalen Durchmessers (mm) vor dem Versuch (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m ²), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Körpertemperatur (°C)	45
Tabelle 11. Korrelation des durchschnittlichen nasalen Atemwiderstandes (Pa s/ml) bei einem Atemfluss von 250 ml/s vor dem Versuch (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m ²), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Körpertemperatur (°C)	47
Tabelle 12. Korrelation des durchschnittlichen Reibungskoeffizienten λ (1/1000) vor (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m ²), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Körpertemperatur (°C)	49
Tabelle B1. Anthropometrische Daten der Probanden in Gruppe 1	VIII
Tabelle B2. Anthropometrische Daten der Probanden in Gruppe 2	IX
Tabelle B3. Bioelektrische Impedanzanalyse: Phase 50 = Bei 50 khz Phasenwinkel in °	X

Verzeichnis der Abkürzungen und Sonderzeichen

ARM	Akustische Rhinometrie
ATP	Adenosintriposphat
BCM	Body Cell Mass, Körperzellmasse
BF	Body Fat, Körperfett
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMI	Body Mass Index
CO ₂	Kohlendioxidabgabe
Dh	Nasaler hydraulischer Durchmesser
ECM	Extra Cellular Mass, Extrazelluläre Masse
F	Querschnittsfläche
FT3	Trijodthyronin
FT4	Thyroxin
Gr	Körpergröße
GU	Grundumsatz
J	Jahre
KG	Körpergewicht
KJ	Kilojoule
λ	Reibungskoeffizient
LBM	Lean body mass, Magermasse
Min.	Minimum
Max.	Maximum
<i>M</i>	Mittelwert
MCA ₂	minimal cross-sectional area
<i>Med</i>	Median
NST	nonshivering thermogenesis, zitterfreie Wärmebildung
NPY	Neuropeptid Y
Pat.	Patient(en)

PET/CT	Positronen-Emissions-Tomographie und Computertomographie
r_{sp}	Korrelationskoeffizient nach Spearman
R	Resistance, Wasserwiderstand
REE	respiratory energy expenditure, Ruheenergieverbrauch
RQ	Respiratorischer Quotient
SD	Standardabweichung
TBW	Total body water, Körperwasser
TSH	Thyreoidea stimulierendes Hormon
U	Umfang
UCP	uncoupling protein, entkoppelndes Protein
VE	Ventilation
VO_2	Sauerstoffaufnahme
Wid.	Widerstand
Xc	Reactance, Zellwiderstand
Z	Impedanz, Gesamtwiderstand

1 Einleitung

Das Tauchen unterliegt in den letzten Jahren einem zunehmenden Wandel. Vom Berufstauchen abgesehen steigt die Zahl der Sport- und Freizeittaucher stetig an, so dass sich das Tauchen immer mehr zu einem Breitensport entwickelt hat. Da häufig Unfallstatistiken auf Schätzungen beruhen, lassen sich keine detaillierten Angaben über die Häufigkeit von Tauchunfällen finden (Tetzlaff, 2012). Durchschnittlich kommt es alle 2500 Tauchgänge zu einem Dekompressionszwischenfall und innerhalb von 40.000 verläuft ein Tauchgang tödlich. Neben einem zu schnellen Aufstieg und einer fehlerhaften Dekompression scheinen auch die erhöhte körperliche Anstrengung sowie äußere Faktoren, wie die Kälte, die Entwicklung von Tauchunfällen zu begünstigen (Tetzlaff, 2012). Besonders in Nord-europa spielt der Wärmeverlust beim Tauchen aufgrund der niedrigen Wassertemperaturen eine große Rolle. Neben der 25-mal höheren Wärmeleitfähigkeit des Wassers mit dem Entzug der Körperwärme scheinen die verwendeten Neoprenanzüge häufig einen nicht ausreichenden Wärmeschutz zu bieten (Liedtke, 2012).

Die vorliegende Studie untersucht den kalorischen Energieumsatz und die Nasenschleimhautreaktion deutscher Marinetaucher während und nach der Exposition in 18 °C kühlem Wasser. Für die medizinische Tauchsicherheit sind Fragen nach Faktoren relevant, die die Sicherheit eines Tauchganges einschränken könnten. Speziell beim beruflichen professionellen Tauchen stellt sich die Frage, ob eine moderate Abkühlung des Tauchers zu einer relevanten Steigerung des Energieumsatzes führt. Bei einem erhöhten Energieumsatz wäre zum einen ein vermehrter Luftverbrauch von Bedeutung, der bei begrenztem Luftvorrat Einfluss auf die Tauchsicherheit haben könnte. Zum anderen wäre die Fragestellung relevant, ob aufgrund eines gesteigerten Energieumsatzes die Notwendigkeit einer hochkalorischen Zusatzkost besteht. Zusätzlich stellt sich die Frage, ob es im Rahmen einer Kältegegenregulation bei einer bis an die Behaglichkeitsgrenze dauernden Abkühlung zu einer signifikanten Beeinflussung der Nasenschleimhautmotorik mit dem Risiko eines Barotraumas kommt.

Zum aktuellen Zeitpunkt liegen zum einen keine gesicherten Daten darüber vor, ob und wie viel sich der Energieumsatz durch den Körperwärmeverlust beim

Tauchen und der anschließenden aktiven Aufwärmphase erhöht und ob daraus für den Taucher ein vermehrter Energiebedarf resultiert. Zum anderen liegt aktuell keine einheitliche wissenschaftliche Erkenntnislage vor, wie die Nasenschleimhaut hinsichtlich ihres Schwellungszustandes unter Abkühlung reagiert. Die Wissenschaftler Lundqvist, Pedersen, Hilberg und Nielsen (1993), Olsson und Bende (1985) sowie Wilde (1999) wiesen unter Kälteexposition eine Nasenschleimhautschwellung nach. Yamagiwa, Hilberg, Pedersen und Lundqvist (1990) hingegen beobachteten in ihrer Studie eine kälteinduzierte Nasenschleimhautabschwellung oder keine Veränderung der Nasenmotorik.

Zur Untersuchung der tauchmedizinisch relevanten Fragen in Hinblick auf die Folgen des Wärmeverlustes im Kaltwasser und den kälteinduzierten Auswirkungen auf die Nasenschleimhaut sollten die Temperaturbedingungen in norddeutschen Gewässern als Grundlage dienen. Deshalb wurden freiwillige junge, männliche Probanden in zwei Gruppen unter kontrollierten Bedingungen in Badebekleidung in 18 °C kühlem Wasser exponiert. Beim Erreichen der subjektiven Akzeptanzgrenze wurde die Exposition in unserer Studie entsprechend den realen Tauchbedingungen beendet.

1.1 Fragestellung der Studie

Welchen Einfluss hat eine Kaltwasserexposition bei 18 °C bis zum Erreichen der Akzeptanzgrenze auf den Energieumsatz und die Nasenschleimhautmotorik?

1.1.1 Einzelfragestellungen der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)

- 1) Kommt es während und nach der Exposition im kühlen Wasser zu einem relevant gesteigerten kalorischen Energieumsatz, einem vermehrten Sauerstoffverbrauch und/oder einer Lipolyse?
- 2) Ist ein durch die Kaltwasserexposition bedingter erhöhter Energieumsatz so ausgeprägt, dass die hierdurch vermehrte Ventilation bei begrenztem Luftvorrat die Tauchsicherheit beeinflusst?
- 3) Besteht nach der Kaltwasserexposition eine Übereinstimmung zwischen dem subjektiv empfundenen Kältegefühl und der tatsächlich messbaren Abnahme der Körperkerntemperatur?

4) Besteht am Ende der Wiedererwärmungsphase eine Übereinstimmung zwischen dem subjektiven Hungergefühl und dem tatsächlich messbaren Energie-mehrverbrauch? Ergeben sich hieraus Hinweise auf einen relevanten kalorischen Mehrbedarf?

1.1.2 Einzelfragestellungen der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)

1) Hat eine Exposition im kühlen Wasser einen Einfluss auf die Nasenmotorik mit einer Änderung des Schwellungszustandes der Nase?

2) Besteht für den Taucher bei einer vermehrten Nasenschleimhautschwellung ein erhöhtes Risiko im Hinblick auf die Durchführbarkeit eines erfolgreichen Druckausgleiches?

1.2 Theoretischer Hintergrund der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)

1.2.1 Thermoregulation bei Kälte

Der menschliche Organismus ist innerhalb thermoneutralen Bedingungen bei einer Lufttemperatur zwischen 23–26 °C und einer Wassertemperatur zwischen 32–34 °C in der Lage, seine Körperkerntemperatur mit Hilfe des Tonus der Hautgefäße konstant zu halten (Stocks, Taylor, Tipton & Greenleaf, 2004). Bei erniedrigten Außentemperaturen führt ein zunehmender Kältereiz zu einer vasokonstriktorisches Minderdurchblutung der Hautgefäße (Frank, Raja, Bulcao & Goldstein, 1999; Van Marken Lichtenbelt & Daanen, 2003). Diese Thermoregulation erfolgt sympathisch vermittelt über den Transmitter Norepinephrin, der an den α_1 -Adrenorezeptoren der Hautgefäße ansetzt (Persson, 2011; Van Someren, Raymann, Scherder, Daanen & Swaab, 2002). Mit zunehmender Erniedrigung der Körperkerntemperatur und maximaler Vasokonstriktion der Hautgefäße tritt eine Tonuszunahme der Muskulatur ein. Diese verursacht im weiteren Verlauf das sogenannte Kältezittern, welches die Wärmeproduktion in Gang setzt (Frank et al. 1999; Van Someren et al., 2002). Diese rhythmischen Muskelkontraktionen sind von einer erhöhten Sauerstoffaufnahme begleitet und ermöglichen durch eine 3 bis 5-fache Steigerung des Grundumsatzes eine maximale Wärmebildung. Dennoch wird die Effektivität des Kältezitterns als gering eingeschätzt, da durch

eine vermehrte Durchblutung in der Körperschale ein Wärmeverlust eintritt (Persson, 2011).

Die Wärmebildung im weißen und braunen Fettgewebe und die hormonale Thermogenese liefern zusätzlich einen Beitrag zur Wärmeproduktion (Van Marken Lichtenbelt & Daanen, 2003). Im weißen Fettgewebe, dem Depotfett, wird die Energie in Form von Triglyceriden gespeichert. Durch die Lipolyse mit der Freisetzung freier Fettsäuren kann diese Energie somit zur Wärmebildung herangezogen werden. Die Lipolyse wird von den Katecholaminen Adrenalin und Noradrenalin über β_2 -adrenerge Rezeptoren gesteuert, wobei Jänig (2011) dem Adrenalin eine größere Bedeutung zuschreibt. Das braune Fettgewebe liegt gegenüber dem Weißen deutlich weniger ausgeprägt vor. Lange Zeit wurde das Vorkommen von braunem Fettgewebe und der Wärmeregulationsmechanismus der zitterfreien Wärmebildung (NST) nur bei Neugeborenen angenommen (Persson, 2011). Neuere wissenschaftliche Studien wiesen anhand von PET-CT Aufnahmen parazervikal und suprascapulär gelegenes braunes Fettgewebe und die Fähigkeit zur zitterfreien Thermogenese auch bei Erwachsenen nach (Van Marken Lichtenbelt et al., 2009; Virtanen et al., 2009). Die Lipolyse wird laut Persson (2011) über β_3 -adrenerge Rezeptoren des Sympathikus im braunen Fettgewebe gesteuert, wobei die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin gleichermaßen beteiligt sind (Jänig, 2011). Die freien Fettsäuren aktivieren das an der Mitochondrienmembran im braunen Fettgewebe vorliegende Thermogenin. Dieses Membranprotein, auch als UCP1 (uncoupling protein) beschrieben, entkoppelt den Protonenkreislauf der Atmungskette in der Zelle. Die gebildete Energie wird nicht mehr für die ATP Synthese genutzt, sondern kann direkt für die Wärmebildung verwendet werden (Persson, 2011). Die hormonale Thermogenese setzt laut Persson (2011) jedoch erst bei längeren Kälteanpassungsvorgängen ein.

1.3 Theoretischer Hintergrund der Gruppe 2 (Rhinoresistometrie-gruppe)

1.3.1 Regulation der Nasenschleimhautmotorik

Das Aufgabenspektrum der Nase beschränkt sich nicht nur auf die Gewährleistung der Ein- und Ausatmung. Im Rahmen ihrer vielfältigen Aufgaben muss die

Nase die Luft anwärmen, anfeuchten und reinigen, um sie für ihren Transport in die tieferen Atemwege vorzubereiten (Keck, 2003). Um diese Funktionen erfüllen zu können, ist ein geringer Atemwiderstand und eine gute Luftdurchgängigkeit eine wichtige Voraussetzung. Um den Atemwegswiderstand regulieren zu können, besitzt die Nase im Bereich der unteren und mittleren Nasenmuscheln sowie der vorderen Nasenscheidewand blutgefülltes Schwellgewebe (Boenninghaus & Lenarz, 2007a). Dabei handelt es sich um ein venöses Netzwerk aus den sogenannten Kapazitätsgefäßen, denen die Aufgabe der Volumenregulation zugeschrieben wird. Die ihnen vorgeschalteten arteriellen Widerstandsgefäße regulieren die Durchblutung der Nasenschleimhaut und haben dadurch einen Einfluss auf den Füllungszustand der nasalen Schwellkörper und auf den nasalen Atemwegswiderstand (Knipping, Riederer & Berghaus, 2004). Sowohl die Kapazitäts- als auch die Widerstandsgefäße sind von sympathischen Nervenfaserbündeln umgeben. Wie von Andersson und Bende (1984) schon frühzeitig beschrieben, sind dort α -Adrenorezeptoren lokalisiert. Über diese erfolgt über den Transmitter Norepinephrin eine Steuerung der sympathischen Nervenfasern (Keck & Lindemann, 2010). Der Sympathikus beeinflusst über diesen Transmitter den Schwellungszustand der Nasenmuscheln, indem er vasokonstriktorisch auf die Blutgefäße wirkt. Unter dem Parasympathikuseinfluss reagiert das Blutgefäßsystem zum einen mit einer Vasodilatation und Durchblutungssteigerung und zum anderen mit einem Anschwellen der Nasenschleimhaut (Boenninghaus & Lenarz, 2007a). Autoren wie Knipping et al. (2004) beschreiben zusätzlich das Vorkommen unterschiedlicher Neuropeptide, wie das Neuropeptid Y (NPY), welches in der unteren Nasenmuschel den vasokonstriktorschen und abschwelenden Effekt des Noradrenalins verstärken soll.

Durch den wechselnden Einfluss des Sympathikus und Parasympathikus auf das Schwellgewebe der Nasenmuscheln kommt es zu einem physiologischen nasalen Zyklus, der der Regeneration der Nasenschleimhaut dient (Rettinger, 1996). Innerhalb von ca. 5 Stunden kommt es bei bis zu 75% der Erwachsenen zu einem wechselnden An- und Abschwellen der beiden Nasenhälften ohne eine weitgehende Änderung des Gesamatemwiderstandes (Gilbert & Rosenwasser, 1987; Knipping et al., 2004). Befindet sich die eine Nasenseite durch den Sympathikus innerviert in der sogenannten Arbeitsphase, ist die Nasenschleimhaut auf

dieser Seite abgeschwollen. Die Strömungsgeschwindigkeit ist langsam und turbulent, so dass die eingeatmete Luft angewärmt, gesäubert und angefeuchtet werden kann. Die andere Nasenseite befindet sich zeitgleich in der Ruhephase. Unter der Innervation des Parasympathikus kommt es auf dieser Nasenseite zu einer Nasenschleimhautschwellung. Die vorliegende Strömung ist laminar und wandparallel, so dass die Schleimhaut Wärmeenergie und Feuchtigkeit aus der Atemluft speichern kann (Mlynski, 2003).

1.3.2 Entwicklung der Rhinologischen Diagnostik

Seit über 100 Jahren beschäftigen sich die Wissenschaftler mit dem Thema der nasalen Atmungsbehinderung. Die rhinologische Diagnostik entwickelte sich bis zum Ende der fünfziger Jahre zur Rhinomanometrie, die Semerak 1958 vorstellte (Semerak, 1958). Bachmann und Nieder beschrieben die Rhinomanometrie als eine unerlässliche diagnostische Messmethode, da eine rein inspektorische Schätzung der Nasendurchgängigkeit häufig fehlerhaft sei (Bachmann & Nieder, 1978). Die am häufigsten durchgeführte Messung erfolgt mittels der aktiven anterioren Rhinomanometrie (Mlynski, 2003). Mit dieser Messmethode kann der nasale Atemstrom und der transnasale Druckverlust während eines Atemzyklus gemessen werden (Boenninghaus & Lenarz, 2007b). Gegenüber dieser Untersuchungsmethode wird von Mlynski (2003) hingegen betont, dass sie lediglich eine Einschätzung einer nasalen Obstruktion ermöglicht, die Ursache aber nicht erklärt (Mlynski, 2003). 1989 entwickelte Hilberg und Mitarbeiter die akustische Rhinometrie (Hilberg, Jackson, Swift & Pedersen, 1989). Mittels einer Schallausendung akustischer Signale, die innerhalb der Nasenwand reflektiert werden, lassen sich Aussagen über das Ausmaß und die Lokalisation von Verengungen im Nasenbereich treffen. Zu Beginn der 90er Jahre wurde auf den Grundlagen der Rhinomanometrie die Rhinoresistometrie maßgeblich von Mlynski und Löw (1993) weiterentwickelt. Anhand differenzierterer Aussagen hinsichtlich des Atemwiderstandes, der Nasenweite, des Strömungscharakters und der Wandbeschaffenheit lassen sich durch diese Messmethode laut Mlynski und Löw (1993) erweiterte Einblicke in die Physiologie, Pathophysiologie und Klinik der Nasenatmung sowie ihrer Behinderung gewinnen.

1.3.3 Entwicklung von Barotraumen

Unabhängig von einer Kälteexposition hat fast jeder Berufs- oder Sporttaucher Erfahrungen mit einem erschwerten oder nicht durchführbaren Druckausgleich. Bis zu 80% der tauchbedingten Erkrankungen betreffen den Hals-Nasen-Ohren-Bereich (Klingmann, 2012a), wobei häufig ein Barotrauma im Bereich des Mittelohres auftritt. Die Ursache liegt meist in einer Ventilationsstörung der Eustach-Röhre durch Schleimhautschwellungen, chronische Entzündungen, Polypenbildung (Adenoide), Nasenmuschelvergrößerungen oder Allergien (Klingmann, Praetorius, Baumann & Plinkert, 2007; Koch & Pau, 1994). Die Häufigkeit von Barotraumen im Bereich der Nasennebenhöhlen liegt bei ca. 15% (Klingmann, 2012b). Auch hier ist die Ventilationsstörung als eine häufige Ursache anzusehen (Klingmann, 2007). Bei einer Verlegung des mittleren Nasenganges während des Tauchgangs und einer Belüftungsstörung der einmündenden Kiefer- und Stirnhöhle wird laut Klingmann (2012a) die Ausführung des Druckausgleiches beeinträchtigt, wodurch sich das Risiko für die Entwicklung eines Barotraumas erhöht.

1.3.4 Barotrauma beim Abtauchen

Ursächlich für die Entwicklung eines Barotraumas ist die Veränderung der Druckverhältnisse unter Wasser. Wie von Scholz (2012) beschrieben, ist der Taucher beim Abtauchen einem erhöhten Umgebungsdruck ausgesetzt. Die eingeschlossene Luft wird beim Abtauchen in den starren Körperhöhlen (Mittelohr, Nasennebenhöhlen) komprimiert, so dass in diesen Bereichen durch die Verringerung des Gasvolumens ein Unterdruck entsteht (Gesetz von Boyle und Mariotte). Ist die Tubenfunktion der Eustach-Röhre gestört, kann sich diese nicht mehr aktiv öffnen. Der ausbleibende Druckausgleich kann zur Trommelperforation, Einblutungen in die Paukenhöhle und Schwindel führen (Koch & Pau, 1994). Im Bereich der Nasennebenhöhlen können Belüftungsstörungen in dieser Tauchphase zu Einrissen der Schleimhautgefäße mit Einblutungen in die Nasennebenhöhlen führen (Klingmann, 2012a).

1.3.5 Barotrauma beim Auftauchen (inverses Barotrauma)

Beim Auftauchen sinkt der Umgebungsdruck und die komprimierte Luft dehnt sich wieder aus. Dieses führt zu einer Volumenvergrößerung mit einem Überdruck im Mittelohr und in den Nasennebenhöhlen. Liegt eine funktionsuntüchtige

Tube vor, kann die Luft nicht passiv in den Nasen-Rachen-Raum zurückströmen, wodurch das Risiko eines Trommelfelleinriss erhöht ist (Klingmann, 2012a). Eine Belüftungsstörung der Nasennebenhöhlen in dieser Tauchphase kann zu Verletzungen der Schleimhaut und Einblutungen in die Tauchermaske führen. Selten kommt es bei starkem Überdruck in den Nasennebenhöhlen und verschlossenen Nasengängen zu einer Fraktur der Nasennebenhöhlen mit Luftaustritt in das umgebende Gewebe oder in die Augenhöhle (Klingmann, 2012a).

2 Material und Methoden

2.1 Probandenauswahl

Bei unserer Studie handelte es sich um eine prospektive Studie an insgesamt 37 gesunden, männlichen Freiwilligen der Bundeswehr. Die Rekrutierung erfolgte aus dem Bereich des Schiffahrtmedizinischen Instituts der Marine sowie aus der Liegenschaft des Sanitätszentrums Eckernförde. Die eventuellen Risiken, denen die Probanden bei dieser Studie ausgesetzt waren, überstiegen nicht das Gefährdungspotential ihrer normalen Tauch- und Schwimmbelastung. Während der gesamten Versuchsdurchführung waren die Probanden unter ärztlicher Aufsicht und der Versuch konnte jederzeit abgebrochen werden. Vor Beginn der Studie wurde die Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel eingeholt, sodass die Studie den ethischen Standards der Deklaration von Helsinki (1964) entsprach (AZ: A 104/04). Zusätzlich wurde vor Beginn die Zustimmung durch den Admiralarzt der Marine, Herrn Dr. med. Büttner, erteilt. Nach einer mündlichen und schriftlichen Aufklärung über den Untersuchungsablauf und die Studienziele erfolgte die schriftliche Einwilligung der Probanden, siehe Anhang A1. Im Anschluss wurden die Teilnehmer hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien ärztlich untersucht. Da die Studie aus zwei Teilen bestand, erfolgte eine Aufteilung der Probanden in zwei Gruppen: Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe), Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe). Eine große Anzahl der Probanden nahm an beiden Versuchsgruppen teil.

2.1.1 Einschlusskriterien der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

- Gesunde, männliche Probanden zwischen 18 und 30 Jahren

2.1.2 Ausschlusskriterien der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

- Minderjährige Männer
- Männer über 30 Jahre, Frauen
- Akute Erkrankungen mit einer eingeschränkten körperlichen Leistungsfähigkeit

2.1.3 Ausschlusskriterien der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)

- Akute oder chronische Nasen-Rachen-Erkrankungen (z.B. Rhinitis, allergische Rhinopathie, Nasenseptumdefekt)
- Vorschädigungen des Nasen-Rachen-Raumes durch Traumata
- Voroperationen der Nase

2.2 Beschreibung der Kollektive der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

Für die Teilnahme an der Gruppe 1 stellten sich 19 gesunde, männliche Probanden zwischen 18 und 30 Jahren zur Verfügung (Alter: $M = 21.9$, $SD = 3.4$; Größe: $M = 180$ cm, $SD = 10$; Gewicht: $M = 75.6$ kg, $SD = 11.8$; BMI: $M = 23.4$, $SD = 2.9$).

An der Gruppe 2 nahmen 28 gesunde, männliche Probanden zwischen 18 und 30 Jahren teil (Alter: $M = 22.6$, $SD = 3.5$; Größe: $M = 178$ cm, $SD = 7.3$; Gewicht: $M = 77.64$ kg, $SD = 13.1$, BMI: $M = 24.4$, $SD = 3.6$). 2 Probanden (7%) waren untergewichtig (BMI < 20.0 kg/m²), 9 Probanden (32%) waren übergewichtig (BMI > 25.0 kg/m²). Die Mehrzahl, 17 Probanden (61%), waren normalgewichtig (BMI 20.0 – 24.9 kg/m²).

Bei allen Teilnehmern wurde die Körpergröße und das Körpergewicht ermittelt und das Alter erfragt, siehe Anhang Tabelle B1 und Tabelle B2.

2.2.1 Voruntersuchungen der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)

Tag 1: Im Schifffahrtmedizinischen Institut in Kiel erfolgte nach Erhebung der personenspezifischen Daten über das Alter, Körpergewicht und die Körpergröße die Eingabe der Daten in das BIA-Gerät zur Körperfettbestimmung.

2.2.2 Voruntersuchungen der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)

Tag 1: Durch den Facharzt der Hals-Nasen-Ohren-Ambulanz im Schifffahrtmedizinischen Institut in Kiel, Flottillenarzt Dr. med. Sassenberg, erfolgte eine Ultraschalluntersuchung der Nasennebenhöhlen (A-Scan) und eine Otoskopie. Nach der Gabe eines abschwellenden Nasensprays (Xylomethazolinhydrochlorid) wurde eine endoskopische transnasale Untersuchung des Nasopharynx, der pharyngealen Tubenostien und der mittleren Nasengänge zum Ausschluss einer Na-

senatmungsbehinderung durchgeführt. Um eine Beeinflussung des Nasensprays auf die Versuchsergebnisse auszuschließen, begann die Versuchsdurchführung nach einem Intervall von 2 Tagen. Zusätzlich wurde der Proband angehalten, 24 Stunden vor dem Versuchsbeginn nicht zu rauchen, Kaugummi zu kauen, Kaffee zu trinken oder Nasenspray zu benutzen. Um eine von den Autoren Åkerlund und Bende (1989), Hilberg (2002) sowie Fonseca, Voegels und Pinto (2006) beschriebene abschwellende Nasenschleimhautreaktion unter körperlicher Belastung auszuschließen, erfolgte vor der Versuchsdurchführung eine 30-minütige Ruhephase zur Akklimatisierung an die Raumlufbedingungen.

2.2.3 Versuchsdurchführung der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

Vor Beginn der Exposition wurde der Versuchsteilnehmer ärztlich untersucht und seine erneute schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie eingeholt,

Tabelle 1. Untersuchungsablauf der Gruppe 1 (Verumversuch mit Kaltwasserexposition/Kontrollversuch mit Scheinexposition) und Gruppe 2 mit Kaltwasserexposition

	Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)	Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)
T0	Blutentnahme: EDTA, Serum, Urinabgabe. Messung der rektalen Temperatur. Beginn der Kaltwasserexposition unter fortlaufender spirometrischer Messung, Ableitung des EKG und Registrierung der Herzfrequenz bis zum Versuchsende.	Durchführung der akustischen Rhinometrie und der Rhinoresistometrie. Messung der rektalen Temperatur. Beginn der Kaltwasserexposition.
T1	Individuelles Verlassen des Kaltwassers. Befragung des subjektiven Kälteempfindens. Blutentnahme: EDTA, Serum, Urinabgabe. Messung der rektalen Temperatur. Gang in den 23 °C temperierten Ruheraum und Beginn der aktiven Wiedererwärmungsphase.	Individuelles Verlassen des Kaltwasserbades. Durchführung der akustischen Rhinometrie und der Rhinoresistometrie. Messung der rektalen Temperatur. Gang in den 23 °C temperierten Ruheraum und Beginn der aktiven Wiedererwärmungsphase
T2	30 Minuten nach Beginn der aktiven Wiedererwärmungsphase Blutentnahme: Laktat, Messung der rektalen Temperatur.	20 Minuten nach Beginn der aktiven Wiedererwärmungsphase Verabreichung von Nasenspray mit einer Einwirkzeit von 10 Minuten. Durchführung der akustischen Rhinometrie und der Rhinoresistometrie. Messung der rektalen Temperatur.
T3	Messung der rektalen Temperatur. Befragung nach dem subjektiven Hungerempfinden. Ende der 2-stündigen aktiven Wiedererwärmungsphase.	

siehe Anhang A2 und A3. Die Tabelle 1 zeigt den detaillierten Untersuchungsaufbau in den einzelnen Untersuchungsphasen der Gruppe 1 und 2.

Nach einem Intervall von wenigen Tagen wurde in der Gruppe 1 ein Kontrollversuch mit einer Scheinexposition durchgeführt. Die Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau der Versuchsdurchführung in der Gruppe 1 und 2.

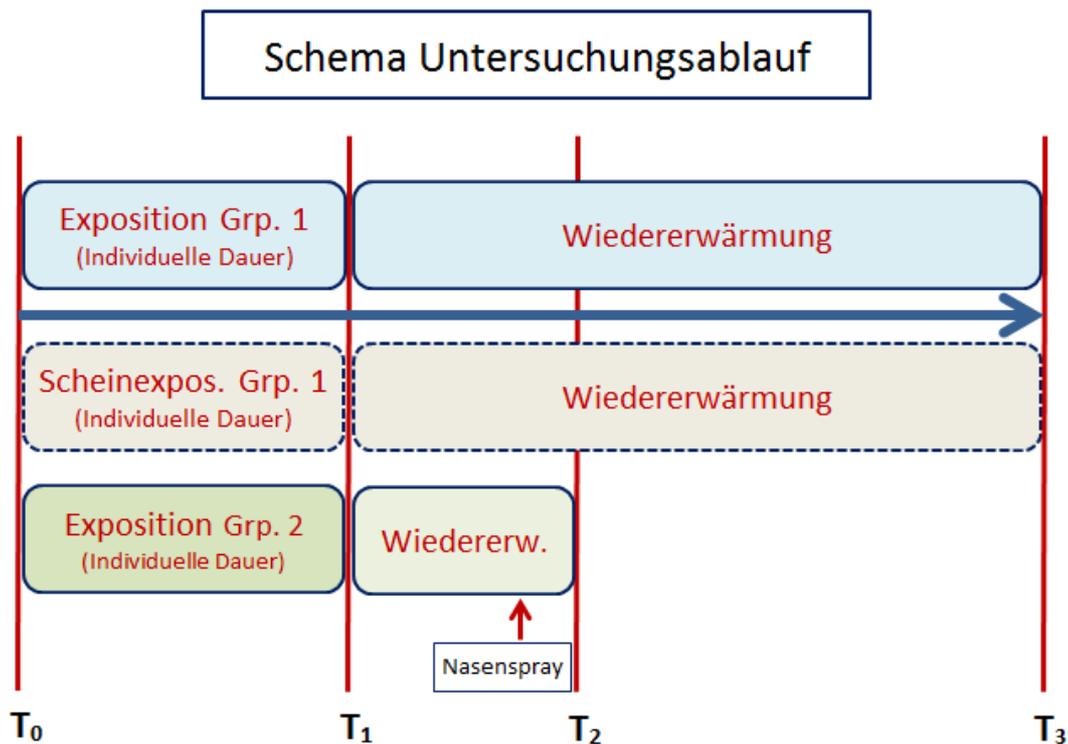


Abbildung 1. Schematischer Untersuchungsablauf der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe): Verumversuch mit Kaltwasserexposition und Wiedererwärmungsphase versus Kontrollversuch mit Scheinexposition und Wiedererwärmungsphase. Schematischer Untersuchungsablauf der Gruppe 2 (Rhinoresistometrie-gruppe): Verumversuch mit Kaltwasserexposition und Wiedererwärmungsphase.

2.3 Untersuchungsmethoden der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)

2.3.1 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die Bioelektrische Impedanzanalyse wurde mit dem BIA Gerät 2000-S, Nutri-guard S, der Firma Data Input GmbH, Darmstadt, durchgeführt. Das Messprinzip bei 0.8 mA und 50 kHz beruht auf einer elektrischen Messung des Gesamtwiderstandes im menschlichen Körper. Da die einzelnen Körpergewebe unterschiedli-

che Mengen an Körperwasser und Körperzellmasse enthalten, werden unterschiedliche Widerstände gemessen (Reimers, Mersch & Müller-Nothmann, 2005). Im Rahmen der Untersuchung werden zwei Hautelektroden an der Hand und dem Fuß platziert, ein elektrisches Wechselstromfeld erzeugt und der Gesamtwiderstand, Impedanz (Z), in der Einheit Ohm gemessen. Durch die weitere Differenzierung des Gesamtwiderstandes in die zwei Teilwiderstände, die Resistance R (Wasserwiderstand) und die Reactance X_c (Zellwiderstand), sind Aussagen über die Körperzellmasse (BCM) und die Extrazelluläre Masse (EZM) möglich. Anhand der Körperzusammensetzung lassen sich Rückschlüsse auf den Ernährungszustand des Menschen ziehen, wobei der Körperzellmasse (BCM) eine zentrale Bedeutung zugemessen wird (Dörhöfer & Pirlich, 2007).

Unter Beachtung folgender standardisierter Messbedingungen erfolgte die Durchführung der Messung (Dörhöfer & Pirlich, 2007).

- Zurückliegende Nahrungsaufnahme von 2 Stunden
- Zurückliegende sportliche Betätigung von 12 Stunden
- Zurückliegender Alkoholkonsum von 24 Stunden
- Flache, horizontale Lagerung in entspanntem Zustand
- 5-minütige Ruhephase vor der Messung
- Kein Tragen von Metall am Körper
- Abgespreizte Extremitäten ohne Kontakt zum Körper, aber auf Körperhöhe
- Reinigung und Entfettung der Haut mit Alkoholtupfern vor dem Anbringen der Elektroden
- Verwendung BIA-geeigneter Elektroden (Bianostic AT)

Innerhalb unserer Studie war die Bestimmung der Körperfettmasse relevant, so dass wir uns auf diesen Messparameter beschränkten.

2.3.2 Körperfettmasse, Body Fat (BF)

Das Körperfett besteht aus Fettzellen, Bindegewebe und aus extrazellulärer Flüssigkeit. Als Isolator leitet das Körperfett den Wechselstrom nur wenig und weist somit einen hohen Widerstand auf (Reimers et al., 2005).

Die Fettmasse (BF) berechnet sich wie folgt:

- $BF = KG \text{ (Körpergewicht)} - LBM \text{ (Magermasse)}$

Für die restlichen erhobenen Parameter, wie die Magermasse (LBM), das Körperwasser (TBW), die Extrazelluläre Masse (ECM), die Körperzellmasse (BCM), der Grundumsatz (GU), die Extrazelluläre Masse/Körperzellmasse (ECM/BCM) und der Phasenwinkel ($^{\circ}$), siehe Anhang Tabelle B3.

2.3.3 Body Mass Index (BMI)

Der BMI berechnet sich wie folgt:

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht}}{\text{Körpergröße}^2}$$

Anhand des BMI (kg/m^2) erfolgte die Einteilung in folgende Gewichtsklassen:

- Untergewicht: < 20.0
- Normalgewicht: $20.0\text{--}24.9$
- Mäßiges Übergewicht: > 25.0

2.3.4 Grundlagen der indirekten Kalorimetrie

Die indirekte Kalorimetrie misst indirekt anhand des Sauerstoffverbrauchs den Energieumsatz des Menschen. Ausgehend von einer Mischkost wird bei einem Sauerstoffverbrauch von 1 Liter 20 KJ Energie umgesetzt (energetisches Äquivalent). Um genauere Angaben über den Energieverbrauch zu erhalten, ist die Bestimmung des Respiratorischen Quotienten notwendig. Bei gleichzeitiger Messung der Kohlendioxidabgabe lässt sich nach folgender Gleichung der Respiratorische Quotient (RQ) bestimmen (Persson, 2011).

- $RQ = \frac{\text{CO}_2 \text{ Abgabe}}{\text{O}_2 \text{ Aufnahme}}$
- $RQ = 1.00$ (Glucoseverbrennung) = $21.0 \text{ KJ}/\text{IO}_2$ (energetisches Äquivalent)
- $RQ = 0.70$ (Fettverbrennung) = $19.6 \text{ KJ}/\text{IO}_2$ (energetisches Äquivalent)
- $RQ = 0.81$ (Eiweißverbrennung) = $18.8 \text{ KJ}/\text{IO}_2$ (energetisches Äquivalent)

Der RQ gibt Auskunft über die Stoffwechselklassen (Glucose, Fette, Eiweiße), die zur Energiegewinnung herangezogen werden. Liegt der genaue RQ-Wert vor,

lässt sich tabellarisch das energetische Äquivalent für den Verbrauch von 1 l Sauerstoff bestimmen und der Energieumsatz berechnen (Persson, 2011).

- $$\text{Energieumsatz} = \frac{\text{Energetisches Äquivalent} \times \text{O}_2\text{-Aufnahme}}{\text{Zeit}}$$

2.3.5 Ruheenergieverbrauch (REE)

Im Institut für Humanernährung und Lebensmittelheilkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Düsternbrooker Weg 17-19, in 24105 Kiel, erfolgte unter der Leitung von Hr. Prof. Dr. med. Müller, eine 1-stündige indirekte Kalorimetrie zur Bestimmung des Ruheenergieverbrauchs (REE). Beim liegenden Probanden wurden mit einer speziellen Haube die Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe gemessen.

2.3.6 Spirometrie

Die Untersuchung wurde mit dem Ergospirometriegerät Oxycon der Firma Jäger, Toennies, Version 4.5, Artikel Nummer 780977, Höchberg durchgeführt. Die mit dem System verbundene mobile Spirometriemaske wurde dem Probanden vor Beginn der Exposition im kühlen Wasser angelegt. Bis zum Ende der 2-stündigen Aufwärmphase wurden mit dem Verfahren der indirekten Kalorimetrie die Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe erfasst. Begleitend wurde kontinuierlich ein 12-Kanal-EKG abgeleitet und die Herzfrequenz registriert (Oxycon, Firma Jaeger, Toennies, Version 4.5, Höchberg). Die Daten wurden mit Hilfe des Computerprogramms der Firma Jaeger GmbH, Ergospirometry D30XYCON.DLL, 1006, CD Version 451.2.25, LABManager 5.52c Release ausgewertet.

2.3.7 Körperkerntemperatur (rektale Temperatur)

Zur Bestimmung der rektalen Temperatur verwendeten wir ein glas- und quecksilberfreies, digitales Fieberthermometer (Thermometer FT 09“, Firma Beurer, Deutschland). Die Messung erfolgte mit einer konstanten rektalen Eindringtiefe von 2 cm. Nach abgeschlossener Messung erfolgte ein Signalton. Die Messgenauigkeit des Fieberthermometers liegt laut Herstellerangaben bei ± 0.1 °C.

2.3.8 Befindlichkeitsskala Kälte/Hunger

Anhand einer Befindlichkeitsskala von 1–10 erfolgte die Befragung der Probanden hinsichtlich ihres subjektiven Kälte- und Hungerempfindens. Die Skalierung 1 korrelierte mit dem Empfinden „überhaupt nicht kalt/hungrig“, die Skalierung 10 mit dem Empfinden „extrem kalt/hungrig“, siehe Anhang A4.

2.3.9 Laborparameter

Zur Messung der Ausgangswerte wurde vor dem Versuchsbeginn Blut zur Bestimmung von Glucose, Triglyceride, Cholesterin, HDL, LDL, Harnstoff, Harnsäure, Kreatinin, Kreatinkinase und CK-MB entnommen (Serum-Gel, S-Monovette, 9 ml Z-Gel, Sarstedt, Nürnberg). Zusätzlich erfolgte die Bestimmung der Leukozyten, des Hämoglobin, des Hämatokrit, der Thrombozyten (S-Monovette, EDTA K, 2.7 ml, Sarstedt, Nürnberg) sowie des Urinstatus. Die für uns relevanten Laborparameter sind im Folgenden dargestellt.

2.3.9.1 Glucose

Die Messung der kapillären Blutglucosekonzentration erfolgte gemäß Angaben des Herstellers (HemoCue ® Glucose 201+, HemoCue AB, Ängelholm, Schweden).

2.3.9.2 Laktat

Die Messung erfolgte mit 10 µl Kapillarblut aus dem Ohrläppchen und wurde anhand des Dr. Lange Küvetten Tests (LKM 140 LOX-PAP Methode, Deutschland) durchgeführt. Die Einzelmessung erfolgte in einem Miniphotometer 8, LP 20, bei einer Messwellenlänge von 520 nm. Nach ca. 3 Minuten lag der kapilläre Laktatwert vor. Der Referenzwert lag zwischen 1.00–1.78 mmol/l.

2.3.9.3 Freie Fettsäuren

Die gefüllten Blutabnahmeröhrchen (S-Monovette, Serum-Gel, 9 ml, Z-Gel, Sarstedt, Nürnberg) wurden im Labor des Schifffahrtmedizinischen Instituts zentrifugiert (Thermo Scientific Heraeus Labofuge 400, USA). Der Überstand wurde abpipettiert (Eppendorf Reference®, Eppendorf AG, Deutschland), in 1 ml große Eppendorfgefäße (Eppendorf AG, Deutschland) gefüllt und bei –80 °C tiefgefroren. Die Bestimmung der freien Fettsäuren wurde in der Bundesforschungs-

anstalt für Ernährung und Lebensmittel, Hermann-Weigmann-Str. 1, in 24103 Kiel unter Leitung von Herrn Prof. Dr. J. Schrezenmeir durchgeführt.

2.3.9.4 Schilddrüsenhormone

Die Abnahme der Parameter (TSH, FT3, FT4) erfolgte mit einem Serum-Gel, S-Monovette, 9 ml Z-Gel, Sarstedt, Nürnberg. Die Bestimmung der Laborwerte wurde im klinischen Labor des Bundeswehrkrankenhauses, Lesserstrasse 180, in 22049 Hamburg durchgeführt.

2.3.9.5 Cortisol

Die Bestimmung des Cortisols wurde im Labor Dres. Ballies, Schönkirchener Strasse. 78, in 24149 Kiel durchgeführt.

2.4 Untersuchungsmethoden der Gruppe 2 (Rhinoresistometrie-gruppe)

Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der akustischen Rhinometrie und Rhinoresistometrie nicht einzuschränken, wurden die Messungen nur durch einen Untersucher durchgeführt und entsprachen den Empfehlungen von Wilson et al. (2001). Die Untersuchungen wurden erst nach mehreren deckungsgleichen Messungen beendet, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

2.4.1 Akustische Rhinometrie (ARM)

Die akustische Rhinometrie wurde mit dem Gerät RhinoScan der Fa. RhinoMetrics, Interacoustics A/S, 5610 Assens, Dänemark, durchgeführt. In unserer Studie wurde die physiologische Einengung der Nase im Bereich der MCA₂ (minimal cross-sectional area) als Querschnitt gemessen. Sie liegt in einer Distanz von 4–5 cm zum Ostium externum nasale und wird durch den Kopf der unteren Nasenmuschel und dem Septumschwellkörper bestimmt (Mlynski, 2003).

Bei der Durchführung der akustischen Rhinometrie wurde den Empfehlungen der Fa. RhinoMetrics folgend auf die Auswahl des passenden Nasenadapters mit einem Mindestdurchmesser von 8 mm geachtet. Dieser wurde nach Auftragen von Vaseline ohne Verformung des Naseneingangs aufgesetzt. Zusätzlich wurde bei der Durchführung der Messung auf eine korrekte Halteposition des Tubus geach-

tet, um die Messergebnisse nicht zu verfälschen. Unter Beachtung folgender standardisierter Bedingungen wurde die Messung durchgeführt:

- 30 Minuten Ruhe zur Gewöhnung an das Raumklima
- Nach dem Auftragen von Vaseline wurde der passende Adapter an das rechte Nasenloch gehalten
- Der Proband wurde aufgefordert, den Mund zu öffnen und nicht zu atmen
- Die Messung wurde nach Erhalt dreier deckungsgleicher Messergebnisse beendet
- Das gleiche Vorgehen erfolgte für die linke Nasenseite
- Wiederholung der Messung rechts/links nach unmittelbarer Kaltwassereexposition
- Applikation von Nasenspray nach 20-minütiger Aufwärmphase
- Nach 10 Minuten Wartezeit Wiederholung der Messung rechts/links

Die Ergebnisse liegen computergestützt als Diagramm vor, wobei die Querschnittsflächen in der Nase (x-Achse) zum Abstand des ostium externum nasale (y-Achse) aufgetragen werden, siehe Abbildung 2.

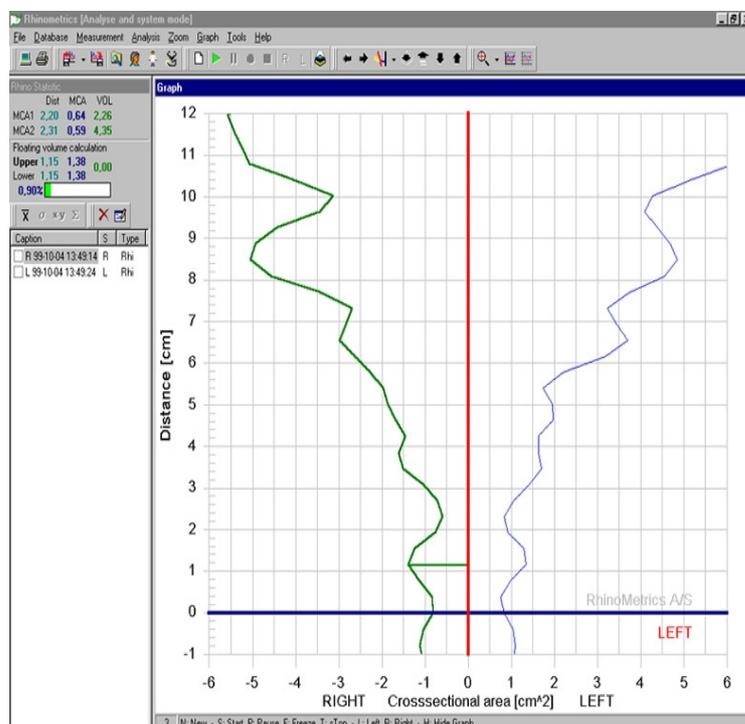


Abbildung 2. Akustische Rhinometrie der Fa. RhinoMetrics, Interacoustics A/S, 5610 Assens, Dänemark.

2.4.2 Rhinoresistometrie (RRM)

Die Untersuchung wurde mit dem Gerät Rhinostream der Fa. RhinoMetrics, Interacoustics A/S, 5610 Assens, Dänemark, durchgeführt. Wie die anteriore Rhinomanometrie stellt die Rhinoresistometrie bei einem Atemfluss von 150 Pascal die transnasale Druckdifferenz (ΔP) und die Atemvolumengeschwindigkeit (V) dar. Auf der Basis von Strömungsgesetzen können dann der Atemwiderstand, der hydraulische Durchmesser, der Reibungskoeffizient und das Turbulenzverhalten berechnet werden (Mlynski, 2003).

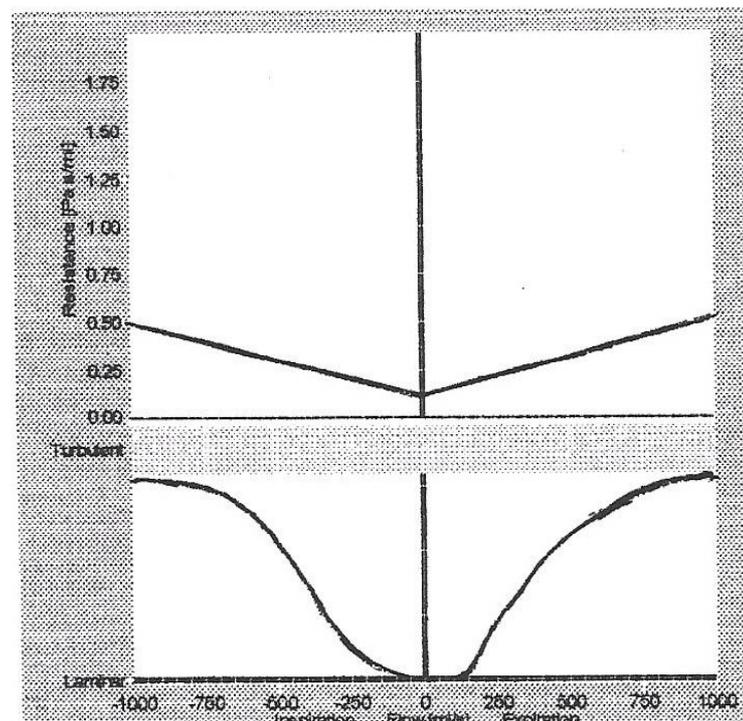


Abbildung 3. Rhinoresistometrische Messung mit dem Gerät Rhinostream der Fa. RhinoMetrics, Interacoustics A/S, 5610 Assens, Dänemark.

In der Abbildung 3 ist der Atemwiderstand (Resistance) in Abhängigkeit von der Atemvolumengeschwindigkeit (Flow) dargestellt. Die linke und rechte Nasenseite wird dabei getrennt betrachtet, wobei auf der linken Seite die Inspiration und auf der rechten Seite die Expiration der jeweiligen Nasenseite abgebildet wird. Anhand der oberen Kurve wird der Atemzyklus, anhand der unteren Kurve das Turbulenzverhalten dargestellt. Bei einer geringen Atemvolumengeschwindigkeit liegt eine laminare Strömung vor. Mit zunehmender Atemvolumengeschwindigkeit

keit geht das Turbulenzverhalten in eine turbulente Strömung über (Mlynski, 2003).

Für die vorliegende Studie wurden, wie von Mlynski und Löw (1993) beschrieben, folgende Parameter erhoben:

- a) Atemwiderstand (Resistance at Flow 250 ml/s) in Pa s/ml: er kann aufgrund eines verringerten nasalen Durchmessers oder erhöhter Turbulenz erhöht sein.
- c) Nasaler hydraulischer Durchmesser (D_h in mm): er ist in der Strömungstechnik ein übliches Weitemaß für nicht runde Strömungskanäle und stellt das Verhältnis der durchströmten Querschnittsfläche (F) zum Umfang (U) dar. Der nasale hydraulische Durchmesser berücksichtigt den erhöhten reibungsbedingten Energieverlust bei großem Umfang und berechnet sich als
$$D_h = \frac{4F}{U} .$$
- d) Reibungskoeffizient λ : es handelt sich um ein Maß zur Beschreibung der Wirkung der Wandbeschaffenheit hinsichtlich der Auslösung von Turbulenzen. Er ist eine dimensionslose Zahl, in der Wandunebenheiten in ein Verhältnis zur Lumenweite gesetzt werden.

2.4.3 Datenverarbeitung

Die Daten der vorliegenden Studie wurden zunächst mit dem Programm Excel tabellarisch erfasst und später in das Statistikprogramm Statistical Package for Social Sciences (SPSS/PC+ Version 15) überführt. An beschreibender Statistik wurden die absolute (n) und relative (%) Häufigkeiten, der Mittelwert (M), die Standardabweichung (SD), der Median (Med), das Minimum (Min) und das Maximum (Max) verwendet. Die intervall- und rationalskalierten Daten wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Gauß-Verteilung geprüft, die jedoch für die Resistance der Rhinoresistometrie nicht gegeben war. Deshalb wurde auf nicht-parametrische Testverfahren ausgewichen (Mann-Whitney U Test, Kruskal-Wallis-Test, Korrelation nach Spearman). Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = .05$ gesetzt. Aufgrund der mehrfachen Testungen wurde eine Bonferroni-Korrektur vorgenommen. Dabei wurde das α -Niveau korrigiert, indem die 5% durch die Anzahl der Testungen innerhalb eines Parameters dividiert wurden.

3A Ergebnisse der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)

3.1 Verweildauer im Kaltwasserbad

Die durchschnittliche Verweildauer der Probanden im Kaltwasserbad betrug $M = 26.8$ Minuten ($SD = 7.9$, $Med = 30.0$) und reichte von 14 bis 45 Minuten.

3.1.1 Unterschied der durchschnittlichen rektalen Temperatur innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1, T1/T2, T2/T3, T0/T3)

Im Verumversuch unterschied sich die durchschnittliche rektale Temperatur hochsignifikant zwischen mindestens zwei Phasen (Friedman: $p < .001$). Durch die Kaltwasserexposition (T1) sank die rektale Temperatur im Vergleich zu T0 hochsignifikant ab (Wilcoxon: $p < .001$). Die durchschnittliche rektale Temperaturreduktion betrug 0.7 °C. Nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase (T2) trat ein erneuter durchschnittlicher Temperaturabfall von 0.3 °C ein. Gegenüber der unmittelbar postexpositionell erhobenen Körperkerntemperatur (T1) lag jedoch kein signifikanter Temperaturunterschied vor (Wilcoxon: $p = .070$). Am Ende der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T3) ließ sich gegenüber T2 eine nicht signifikante Erhöhung der rektalen Temperatur feststellen (Wilcoxon: $p = .790$). Verglichen mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur gegenüber der Ausgangsmessung (T0) zeigten die Temperaturkontrollen am Ende der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T3) weiterhin eine hochsignifikante Reduktion der Körperkerntemperatur (Wilcoxon: $p < .001$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/8 = .006$) blieben alle durchgeführten Tests signifikant.

Im Kontrollversuch unterschied sich die durchschnittliche rektale Temperatur ebenfalls hochsignifikant zwischen den verschiedenen Zeitpunkten (Friedman: $p < .001$). Durch die Scheinexposition (T1) sank die rektale Temperatur gegenüber dem Ausgangswert (T0) hochsignifikant ab (Wilcoxon: $p < .001$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/8 = .006$) blieb dieser Wert signifikant. Die durchschnittliche rektale Temperaturreduktion betrug zwischen der Ausgangsmessung (T0) und der Messung nach der Exposition (T1) 0.2 °C. Die Messung der Körperkerntemperatur am Ende der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase (T2) zeigte

gegenüber (T1) einen nicht signifikanten erneuten Temperaturabfall von durchschnittlich 0.1 °C (Wilcoxon: $p = .279$).

Am Ende der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase ließ sich eine signifikante Erhöhung der rektalen Temperatur zwischen T2/T3 feststellen (Wilcoxon: $p = .043$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/8 = .006$) blieb dieser Wert nicht signifikant. Verglichen mit der rektalen Ausgangstemperatur (T0) lag am Ende der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T3) eine signifikante Reduktion der Körperkerntemperatur vor (Wilcoxon: $p < .05$), siehe Abbildung 4a. Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/8 = .006$) blieb dieser Wert nicht signifikant.

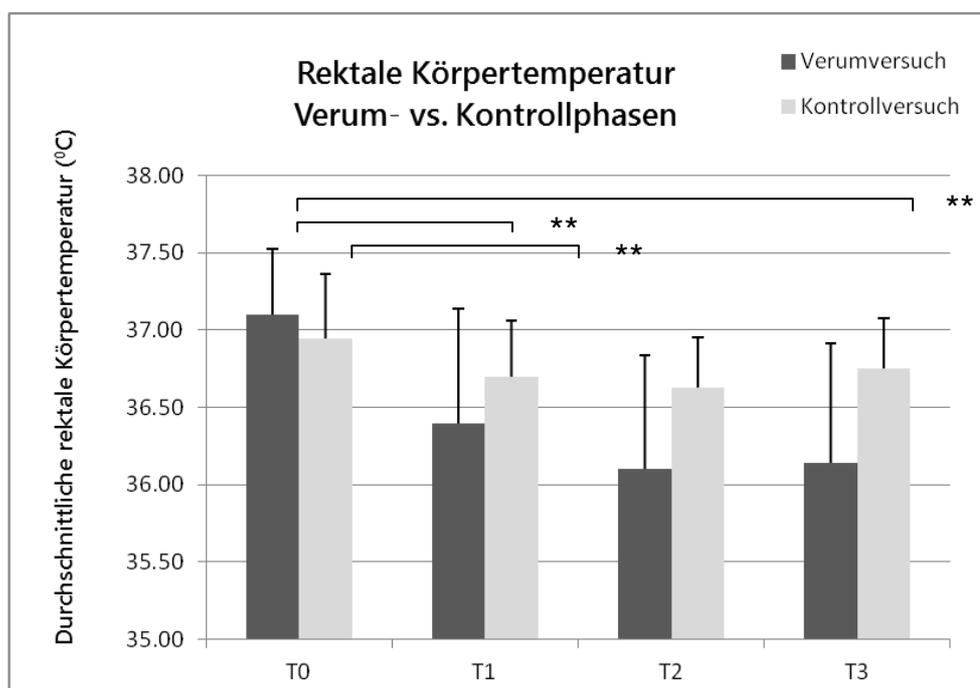


Abbildung 4a. Verlauf der durchschnittlichen rektalen Körpertemperatur (°C) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0/T1 = vor dem Versuch/nach dem Versuch, T1/T2 = nach dem Versuch/nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase, T0/T3 = vor dem Versuch/ nach der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.1.2 Unterschied der durchschnittlichen rektalen Temperatur zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1, T2/T2, T3/T3)

Zwischen dem Verum- und Kontrollversuch zeigten die Ausgangswerte der Körperkerntemperatur keine signifikanten Temperaturunterschiede (T0, Wilcoxon: p

= .139). Signifikante rektale Temperaturunterschiede zwischen den Versuchen bestand nach der Kaltwasserexposition (T1, Wilcoxon: $p < .05$), nach der 30-minütigen (T2, Wilcoxon: $p < .01$) und nach der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T3, Wilcoxon: $p < .01$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/4 = .013$) blieben die rektalen Temperaturunterschiede T2/T2, T3/T3 signifikant. Der durchschnittliche rektale Temperaturverlauf im Verum- und Kontrollversuch ist in Abbildung 4b dargestellt.

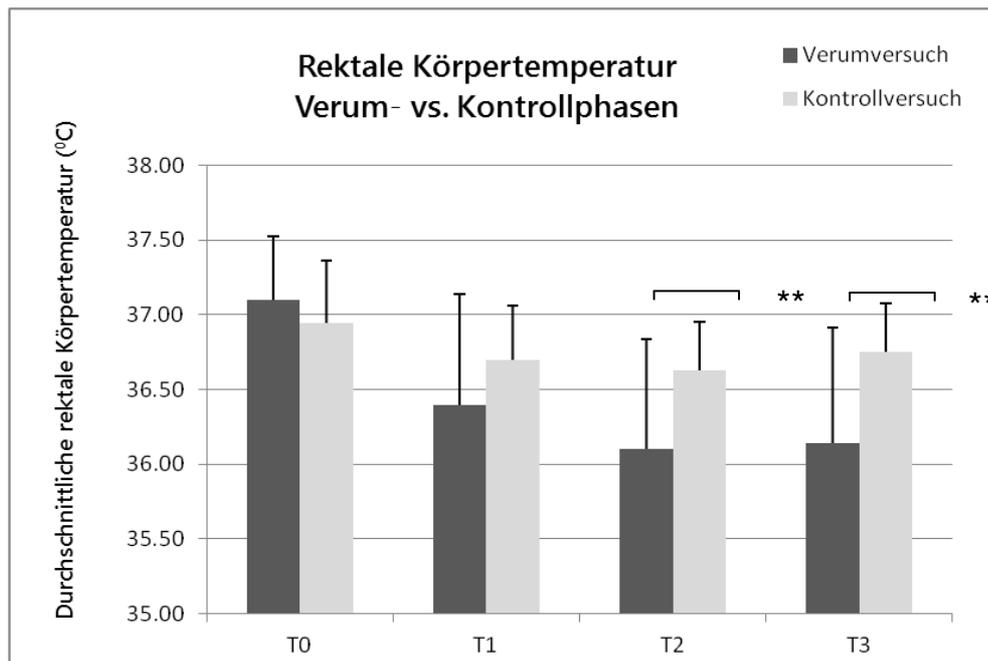


Abbildung 4b. Verlauf der durchschnittlichen rektalen Körpertemperatur (°C) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0/T0 = vor dem Versuch, T1/T1 = nach dem Versuch, T2/T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase, T3/T3 = nach der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.1.3 Korrelation des Body Mass Index mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur

Der Body Mass Index zeigte keine signifikante Korrelation mit der rektalen Körpertemperatur vor der Kaltwasserexposition (T0: $r_{\text{sp}} = .13$, $p = .589$), nach der Kaltwasserexposition (T1: $r_{\text{sp}} = .37$, $p = .118$), nach der 30-minütigen (T2: $r_{\text{sp}} = .19$, $p = .426$) und nach der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T3: $r_{\text{sp}} = -.09$, $p = .716$).

3.1.4 Korrelation der Fettmasse mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur

Die Fettmasse zeigte vor der Kaltwasserexposition keine signifikante Korrelation mit der rektalen Körpertemperatur (T0: $r_{sp} = .30$, $p = .213$). Postexpositionell korrelierte die Fettmasse signifikant positiv mit der rektalen Körpertemperatur (T1: $r_{sp} = .47$, $p < .05$). Postexpositionell (T1) ließ sich bei den Probanden mit einem niedrigeren Körperfettanteil eine niedrigere rektale Körpertemperatur nachweisen.

Die Korrelation zwischen der Fettmasse und der Körperkerntemperatur 30 Minuten nach der Exposition (T2) verfehlte knapp die Signifikanz (T2: $r_{sp} = .44$, $p = .057$). Am Ende der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T3) zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Fettmasse und der rektalen Körpertemperatur (T3: $r_{sp} = .06$, $p = .797$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/4 = .013$) zeigte sich in keiner Phase zwischen der rektalen Körpertemperatur und der Fettmasse eine signifikante Korrelation.

3.1.5 Korrelation des Body Mass Index mit der durchschnittlichen Verweildauer im Kaltwasserbad

Die Verweildauer der Probanden wies mit dem Body Mass Index eine positive und signifikante Korrelation auf ($r_{sp} = .53$, $p < .05$). Probanden mit einem höheren Body Mass Index verweilten länger im Kaltwasserbad als Probanden mit einem niedrigeren.

3.1.6 Korrelation der Fettmasse mit der durchschnittlichen Verweildauer im Kaltwasserbad

Die Fettmasse der Probanden wies eine positive und signifikante Korrelation mit der Verweildauer auf ($r_{sp} = .59$, $p < .01$). Probanden mit einer höheren Fettmasse verweilten länger im Kaltwasserbad als Probanden mit einer geringeren, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2. Abhängigkeit der durchschnittlichen Verweildauer (min.) von der Fettmasse während der Kaltwassereexposition

Fettmasse in %	<i>n</i>	Verweildauer			
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	Min – Max
≤ 10	3	14.67	0.58	15.00	14 – 15
11–19	10	25.80	4.13	25.50	20 – 30
≥ 20	6	30.83	9.70	30.00	15 – 45

3.2 Sauerstoffaufnahme (VO₂ ml/min.)

3.2.1 Unterschied der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2)

Im Verumversuch kam es verglichen mit dem Kontrollversuch während der Kaltwassereexposition (T1) zu einem durchschnittlich signifikant höheren Sauerstoffverbrauch (Wilcoxon: $p < .01$). Dieser erhöhte Sauerstoffmeherverbrauch reduzierte sich während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase (T2), so dass am Ende kein signifikanter Unterschied zwischen dem Verum- und Kontrollversuch vorlag (Wilcoxon: $p = .904$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/2 = .025$) hatten die Probanden im Verumversuch während der Kaltwassereexposition (T1) gegenüber dem Kontrollversuch einen signifikant erhöhten Sauerstoffverbrauch. Für den Verlauf der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme siehe Abbildung 5.

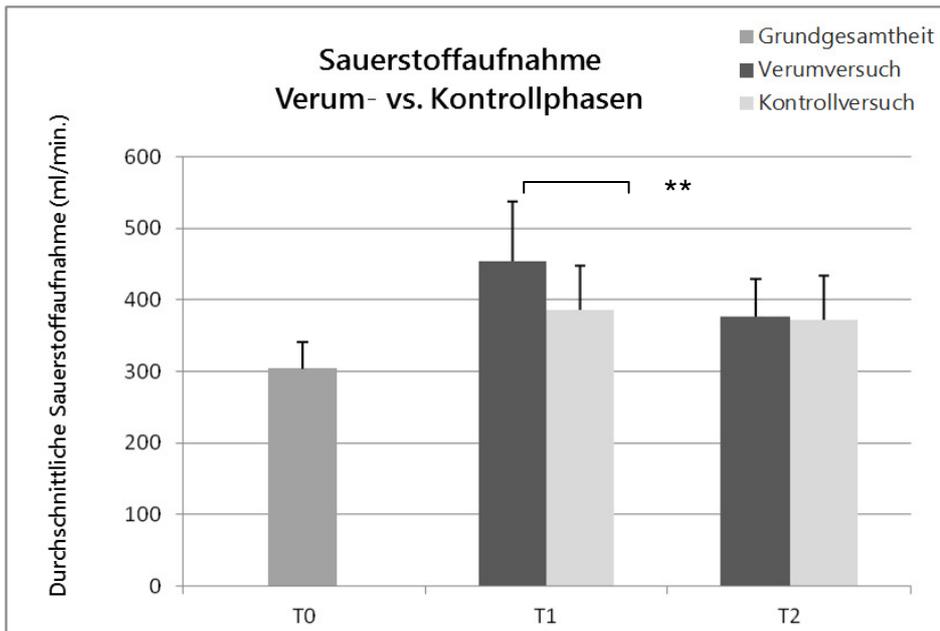


Abbildung 5. Verlauf der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme (ml/min.) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0 = Gesamtheit der Probanden vor dem Versuch (Ruheenergieverbrauch), T1 = während des Versuchs, T2 = während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.2.2 Einfluss der Fettmasse auf die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T1/T2)

Nach Einteilung der Probanden in unterschiedliche Fettmassengruppen ($\leq 10\%$, 11–19%, $\geq 20\%$) konnten folgende Ergebnisse erhoben werden:

Im Verumversuch zeigten sich während der Kaltwasserexposition (T1) hinsichtlich ihrer Sauerstoffaufnahme zwischen diesen Gruppen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis: $p < .05$). Während der Exposition (T1) ließ sich kein signifikanter Unterschied bei den Personen mit einer Fettmasse von $\leq 10\%$ und denen mit einer Fettmasse zwischen 11 und 19% (Mann-Whitney U Test: $p = .692$) nachweisen. Dieses traf auch für die Personen mit einer Fettmasse von $\leq 10\%$ verglichen mit den Personen mit einer Fettmasse von $\geq 20\%$ zu (Mann-Whitney U Test: $p = .548$). Während der Kaltwasserexposition (T1) konnte nur bei den Probanden mit einer Fettmasse zwischen 11–19% im Vergleich zu denen mit einer Fettmasse von $\geq 20\%$ ein signifikant erhöhter Sauerstoffverbrauch nachge-

wiesen werden (Mann-Whitney U Test: $p < .01$), der sich ebenfalls nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/3 = .017$) als signifikant erwies. Während der Wiedererwärmungsphase (T2) reduzierte sich ihr durchschnittlicher Sauerstoffmehrerbrauch, sodass kein signifikanter Unterschied mehr vorlag (Kruskal-Wallis: $p = .307$).

Im Kontrollversuch zeigte sich während der Scheinexposition (T1, Kruskal-Wallis: $p = .425$) und während der Wiedererwärmungsphase (T2, Kruskal-Wallis: $p = .522$) kein signifikanter Einfluss der Fettmasse auf die Sauerstoffaufnahme, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3. Abhängigkeit der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme (ml/min.) von der Fettmasse in den Verum- und Kontrollphasen

	Fettmasse in %	M	SD	Med	M	SD	Med
T0	≤ 10	270.33	60.96	303.00			
	11–19	310.00	29.65	307.50			
	≥ 20	310.00	36.19	304.00			
Verumversuch				Kontrollversuch			
T1	≤ 10	421.35	166.26	502.57	329.73	95.42	291.59
	11–19	493.90	54.23	511.17	392.34	51.03	404.89
	≥ 20	401.67	45.42	410.31	401.51	57.70	389.85
T2	≤ 10	337.95	41.98	334.72	316.03	103.20	262.72
	11–19	381.90	54.05	386.99	387.03	46.80	389.90
	≥ 20	389.27	52.54	368.71	374.04	56.12	388.56

Anmerkungen. T0 = vor dem Versuch, T1 = während des Versuchs, T2 = während der Wiedererwärmungsphase.

3.3 Energieverbrauch (kcal/min.)

3.3.1 Unterschied des durchschnittlichen Energieverbrauchs zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2)

Im Verumversuch hatten die Probanden während der Kaltwassereexposition (T1) im Vergleich zum Kontrollversuch einen signifikant höheren Energieverbrauch (Wilcoxon: $p < .01$), der sich ebenfalls nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/2 = .025$) als signifikant zeigte. Während der Wiedererwärmungsphase (T2) war der durchschnittliche Energieverbrauch im Verum- und Kontrollversuch vergleichbar, ein signifikanter Unterschied lag nicht vor (Wilcoxon: $p = .904$), siehe Abbildung 6.

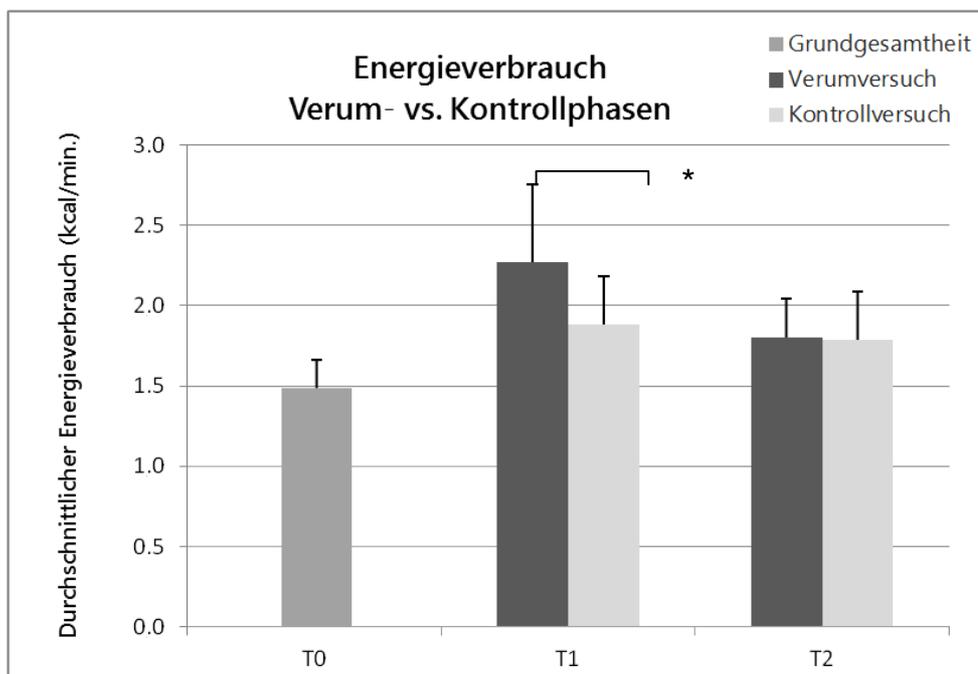


Abbildung 6. Verlauf des durchschnittlichen Energieverbrauchs (kcal/min.) in den Verum- und den Kontrollphasen. T0 = Gesamtheit der Probanden vor dem Versuch (Ruheenergieverbrauch), T1 = während des Versuchs, T2 = während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.4 Ventilation (VE l/min.)

3.4.1 Unterschied der durchschnittlichen Ventilation zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2)

Im Verumversuch war die durchschnittliche Ventilation der Probanden gegenüber dem Kontrollversuch während der Kaltwasserexposition (T1) erhöht, aber nicht statistisch signifikant (Wilcoxon: $p = .059$). Während der Wiedererwärmungsphase (T2) war die durchschnittliche Ventilation im Verum- und Kontrollversuch vergleichbar, sodass kein signifikanter Unterschied vorlag (Wilcoxon: $p = .243$), siehe Tabelle 4.

Tabelle 4. Durchschnittliche Ventilation (l/min.) in den Verum- und Kontrollphasen

Messzeitpunkt	Verumversuch			Kontrollversuch		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>
T1	12.96	2.18	13.08	11.62	1.80	11.77
T2	10.30	1.14	10.38	10.66	1.68	11.00

Anmerkungen. T1 = während des Versuchs, T2 = während der Wiedererwärmungsphase.

3.4.2 Einfluss der Fettmasse auf die durchschnittliche Ventilation innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T1/T2)

Zwischen den Probanden zeigte sich in allen Phasen kein signifikanter Einfluss ihrer unterschiedlichen Fettmasse auf ihre durchschnittliche Ventilation (Verumversuch während der Kaltwasserexposition (T1), Kruskal-Wallis: $p = .129$; Verumversuch nach der Kaltwasserexposition (T2), Kruskal-Wallis: $p = .427$; Kontrollversuch während der Scheinexposition (T1), Kruskal-Wallis: $p = .199$; Kontrollversuch nach der Scheinexposition (T2), Kruskal-Wallis: $p = .425$), siehe Tabelle 5.

Tabelle 5. Abhängigkeit der durchschnittlichen Ventilation (l/min.) von der Fettmasse in den Verum- und Kontrollphasen

	Fettmasse in %	Verumversuch			Kontrollversuch		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>
T1	≤ 10	11.88	2.86	13.10	10.07	2.46	9.72
	11-19	13.86	2.25	13.67	11.47	1.35	11.60
	≥ 20	11.99	1.15	12.19	12.63	1.80	12.39
T2	≤ 10	9.74	1.15	9.81	9.22	2.47	8.25
	11-19	10.06	0.96	10.38	10.84	1.07	10.75
	≥ 20	10.98	1.27	10.50	11.08	2.03	11.25

Anmerkungen. T1 = während des Versuchs. T2 = während der Wiedererwärmungsphase.

3.5 Respiratorischer Quotient (RQ)

3.5.1 Unterschied des durchschnittlichen RQ zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T1/T1, T2/T2)

Verglichen mit dem Kontrollversuch zeigte sich im Verumversuch während der Kaltwasserexposition (T1) kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon: $p = .111$). Während der Wiedererwärmungsphase (T2) war der durchschnittliche respiratorische Quotient im Verum- und Kontrollversuch vergleichbar, ein signifikanter Unterschied lag nicht vor (Wilcoxon: $p = .090$). Für den grafischen Verlauf des durchschnittlichen respiratorischen Quotienten siehe Abbildung 7.

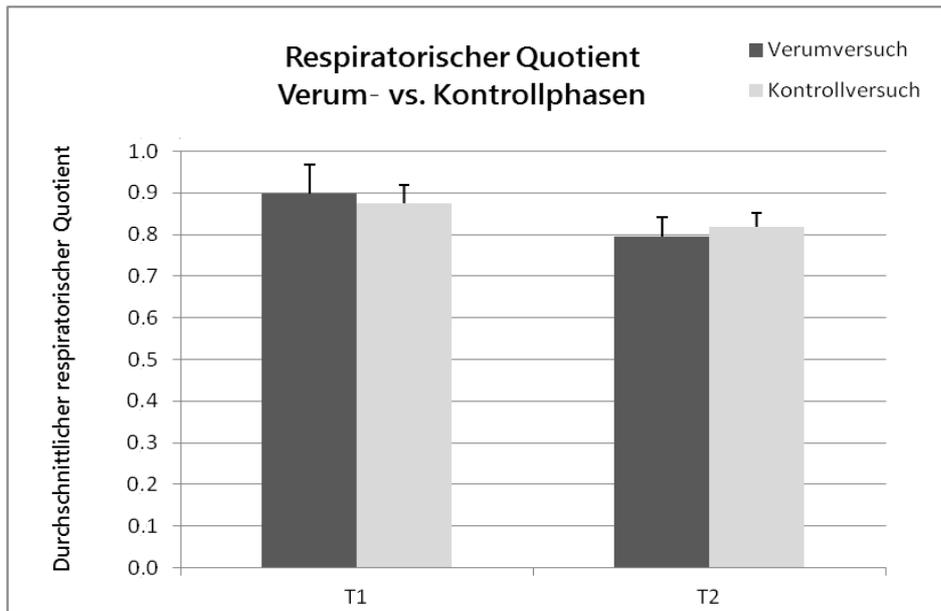


Abbildung 7. Verlauf des durchschnittlichen respiratorischen Quotienten in den Verum- und Kontrollphasen. T1 = während des Versuchs, T2 = während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen.

3.6 Lipidstoffwechsel

3.6.1 Freie Fettsäuren

3.6.1.1 Unterschied der durchschnittlichen freien Fettsäurekonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1)

Im Verumversuch zeigte sich nach der Kaltwasserexposition (T1) gegenüber der Ausgangsmessung (T0) eine signifikante Erhöhung der freien Fettsäuren (Wilcoxon: $p < .01$), die sich ebenfalls nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/4 = .013$) als signifikant erwies. Als Basis für die durchgeführte Bonferroni-Korrektur dienten die jeweiligen zwei Tests im Abschnitt 3.6.1.1 und 3.6.1.2.

Im Kontrollversuch kam es nach der Scheinexposition zu keiner signifikanten Erhöhung der freien Fettsäuren (Wilcoxon: $p = .904$). Der Verlauf der durchschnittlichen freien Fettsäuren ist in den verschiedenen Phasen und Bedingungen in der Abbildung 8 noch einmal grafisch veranschaulicht.

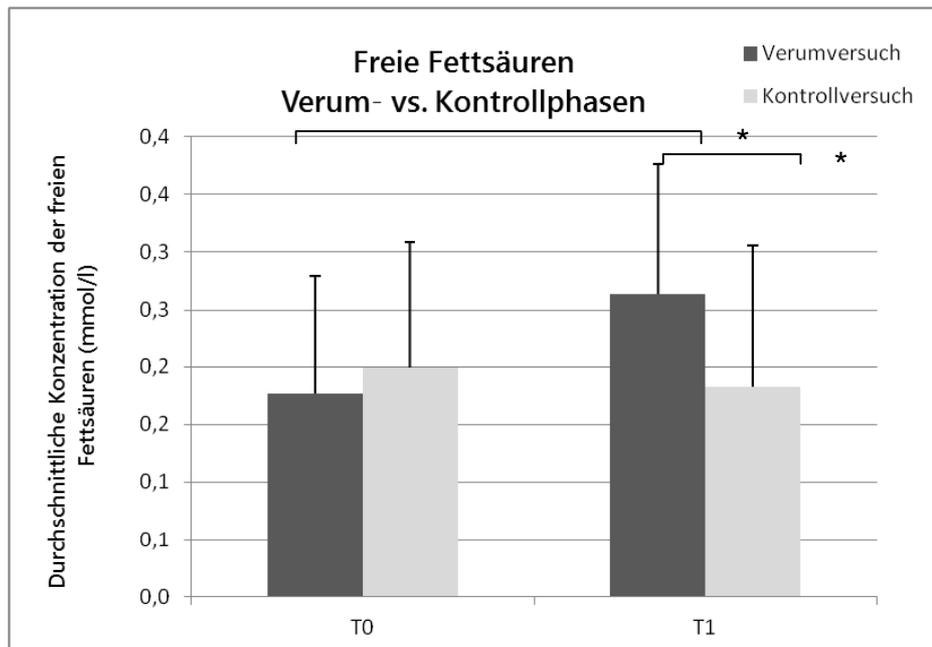


Abbildung 8. Verlauf der durchschnittlichen freien Fettsäurekonzentration (mmol/l) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.6.1.2 Unterschied der durchschnittlichen freien Fettsäurekonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1)

Die durchschnittlichen Ausgangswerte (T0) der freien Fettsäuren waren in dem Verum- und Kontrollversuch vergleichbar. Die durchschnittliche Ausgangswerte der freien Fettsäuren lagen innerhalb des Verumversuchs bei $M = 0.18$ mmol/l ($SD = 0.10$, $Med = 0.14$) und innerhalb des Kontrollversuchs bei $M = 0.20$ mmol/l ($SD = 0.11$, $Med = 0.19$). Dieser Unterschied war nicht signifikant (Wilcoxon: $p = .171$). Nach der Kaltwassereexposition (T1) zeigte sich im Verumversuch verglichen mit dem Kontrollversuch eine signifikant höhere durchschnittliche Konzentration der freien Fettsäuren (Wilcoxon: $p < .05$), die sich nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/4 = .013$) als signifikant zeigte.

3.6.2 Triglyceride

3.6.2.1 Unterschied der durchschnittlichen Triglyceridkonzentration innerhalb des Verum- und Kontrollversuch zwischen den Phasen (T0/T1)

Im Gegensatz zum Kontrollversuch (Wilcoxon: $p = .205$) kam es im Verumversuch nach der Kaltwasserexposition (T1) zu einem signifikanten Anstieg der durchschnittlichen Triglyceridwerte (Wilcoxon: $p < .05$), der sich ebenfalls nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/4 = .013$) als signifikant zeigte, siehe Abbildung 9.

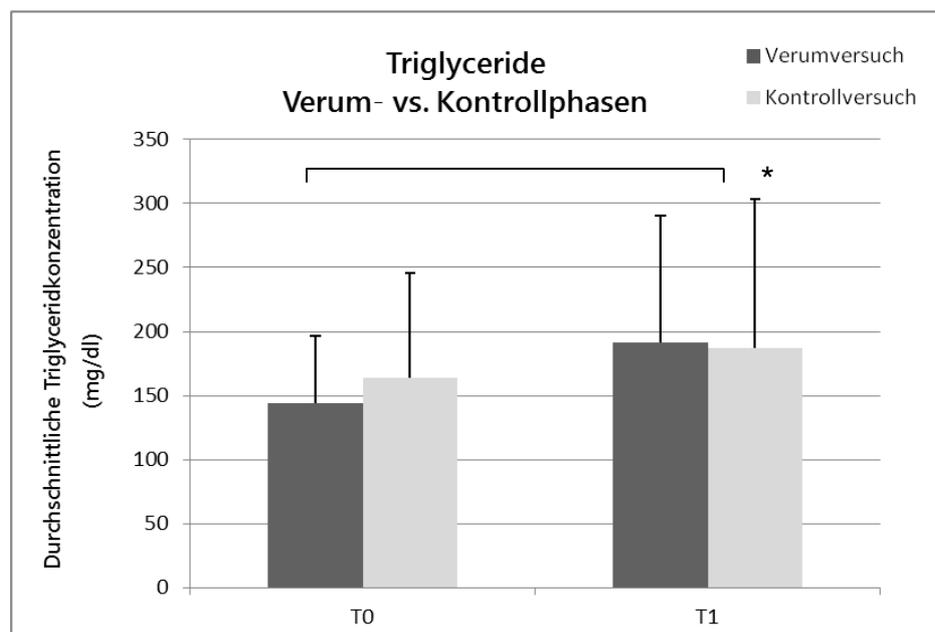


Abbildung 9. Verlauf der durchschnittlichen Triglyceridkonzentration (mg/dl) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.6.2.2 Unterschied der durchschnittlichen Triglyceridwerte zwischen dem Verum- und Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1)

Die durchschnittlichen Ausgangswerte (T0) der Triglyceride waren in dem Verum- und Kontrollversuch vergleichbar (Wilcoxon: $p = .398$). Nach der Kaltwasserexposition (T1) im Verumversuch und der Scheinexposition im Kontrollversuch zeigte sich kein signifikanter Unterschied der durchschnittlichen Triglyceridkonzentration (Wilcoxon: $p = .573$).

3.7 Kohlenhydratstoffwechsel

3.7.1 Glucose

3.7.1.1 Unterschied der durchschnittlichen Glucosekonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1)

Verglichen mit der Ausgangsmessung (T0) ließ sich in dem Verumversuch nach der Kaltwasserexposition (T1) eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen Glucosekonzentration feststellen (Wilcoxon: $p < .01$), die sich nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/4 = .013$) als signifikant zeigte. In dem Kontrollversuch zeigten sich keine signifikanten Veränderungen der durchschnittlichen Glucosekonzentration zwischen der Ausgangsmessung (T0) und dem Messzeitpunkt nach der Scheinexposition (Wilcoxon: $p = .071$), siehe Abbildung 10.

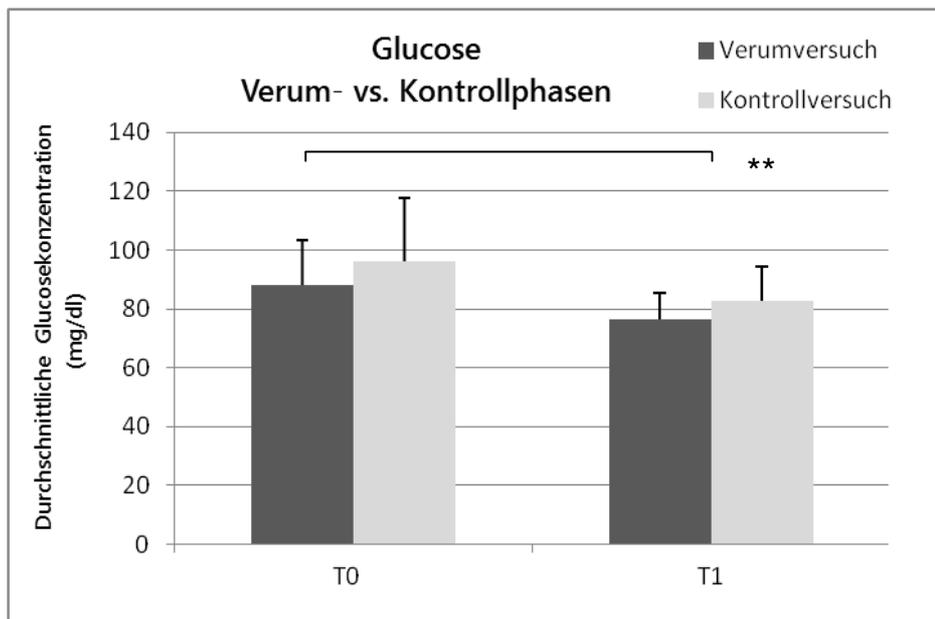


Abbildung 10. Verlauf der durchschnittlichen Glucosekonzentration (mg/dl) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.7.1.2 Unterschied der durchschnittlichen Glucosekonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1)

Vor dem Versuch (T0) ließen sich im Verum- und im Kontrollversuch keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der durchschnittlichen Glucosekonzentration

feststellen (Wilcoxon: $p = .136$). Nach dem Versuch (T1) zeigte sich in dem Verumversuch im Vergleich zum Kontrollversuch eine signifikante Erniedrigung der durchschnittlichen Glucosekonzentration (Wilcoxon: $p < .05$). Dieses Ergebnis erwies sich jedoch nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/4 = .013$) als nicht signifikant.

3.8 Laktat

3.8.1 Unterschied der durchschnittlichen Laktatkonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1)

In dem Verumversuch war vor der Kaltwassereexposition (T0) der durchschnittliche Laktatwert gegenüber der Messung nach der Kaltwassereexposition (T1) hochsignifikant erhöht (Wilcoxon: $p < .001$). Wie im Verumversuch ließ sich im Kontrollversuch eine hochsignifikante Reduktion der mittleren Laktatwerte nach der Scheinexposition (T1) feststellen (Wilcoxon: $p < .001$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/4 = .013$) blieben die Ergebnisse signifikant, siehe Abbildung 11.

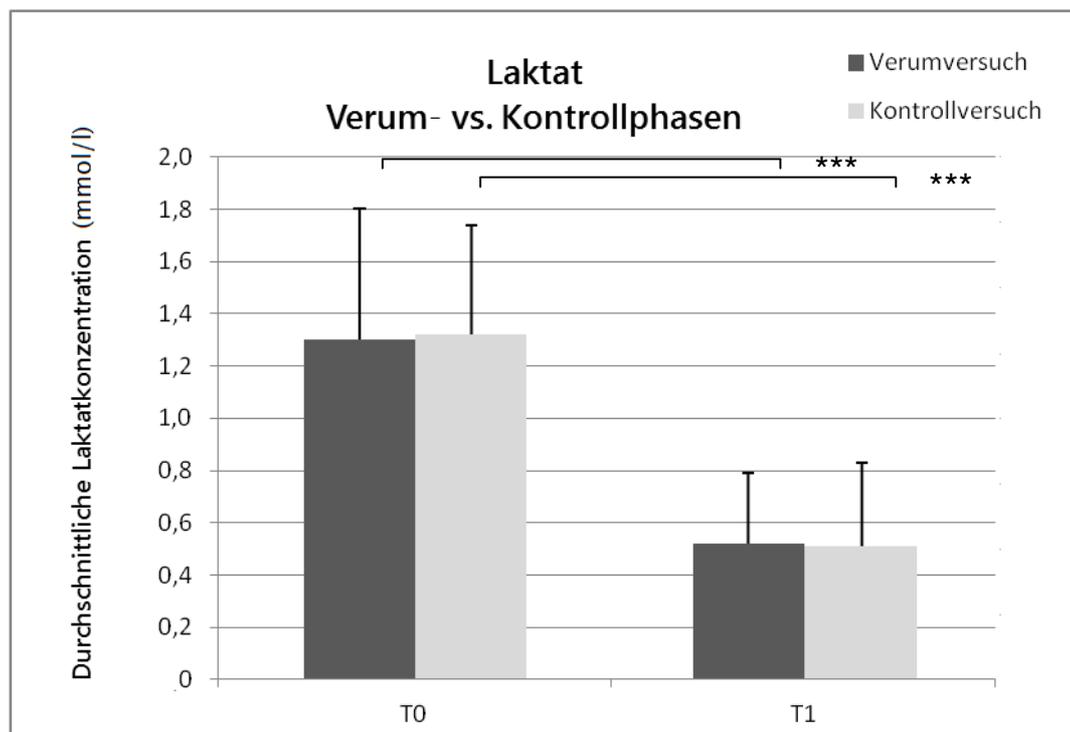


Abbildung 11. Verlauf der durchschnittlichen Laktatkonzentration (mmol/l) in den Verum- und Kontrollphasen. T0 = vor dem Versuch, T1= nach dem Versuch. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.8.2 Unterschied der durchschnittlichen Laktatkonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1)

Zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch ließen sich vor dem Versuch (T0, Wilcoxon: $p = .872$) und nach dem Versuch (T1, Wilcoxon: $p = .748$) keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der durchschnittlichen Laktatkonzentration feststellen.

3.9 Cortisol

3.9.1 Unterschied der durchschnittlichen Cortisolkonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1)

In dem Verumversuch ließ sich nach der Kaltwasserexposition (T1) eine hochsignifikante Reduktion der durchschnittlichen Cortisolkonzentration gegenüber der Ausgangsmessung (T0) feststellen (Wilcoxon: $p < .001$). Auch im Kontrollversuch kam es verglichen mit der durchschnittlichen Cortisolkonzentration in der Ausgangsmessung (T0) nach der Scheinexposition (T1) zu einer signifikanten Reduktion (Wilcoxon: $p < .01$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/4 = .013$) blieb dieses Ergebnis signifikant. Für den Verlauf der durchschnittlichen Cortisolkonzentration siehe Tabelle 6.

Tabelle 6. Verlauf der durchschnittlichen Cortisolkonzentration ($\mu\text{g/dl}$) in den Verum- und den Kontrollphasen

Messzeitpunkt	Verumversuch			Kontrollversuch		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>
T0	13.00	4.18	13.90	10.06	3.84	10.10
T1	7.39	2.79	7.00	6.32	2.69	6.00

Anmerkungen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch.

3.9.2 Unterschied der durchschnittlichen Cortisolkonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0), (T1/T1)

Vor der Kaltwasserexposition (T0) waren die durchschnittlichen Cortisol-Werte in dem Verumversuch signifikant höher als in dem Kontrollversuch (Wilcoxon: $p < .05$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/4 = .013$) blieb das Ergebnis signifikant.

Im Gegensatz dazu ließ sich zwischen den durchschnittlichen Cortisol-Werten im Verumversuch nach der Kaltwasserexposition (T1) und im Kontrollversuch nach der Scheinexposition (T1) kein signifikanter Unterschied mehr feststellen (Wilcoxon: $p = .136$).

3.10 Schilddrüsenwerte (FT3, FT4, TSH)

3.10.1 Unterschied der durchschnittlichen Schilddrüsenwertkonzentration innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs zwischen den Phasen (T0/T1, T1/T2)

In dem Verumversuch zeigte sich nur eine geringfügige durchschnittliche Abnahme der FT3 Konzentration. Somit war der Unterschied zwischen den durchschnittlichen FT3-Werten zwischen vor (T0) und nach der Kaltwasserexposition (T1) nicht signifikant (Wilcoxon: $p = .359$). Im Gegensatz dazu war in dem Kontrollversuch eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen FT3-Werte von vor (T0) zu nach der Scheinexposition (T1) festzustellen (Wilcoxon: $p < .01$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/4 = .013$) blieb dieses Ergebnis signifikant.

Im Verumversuch zeigte sich eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen FT4-Werte von vor (T0) zu nach der Exposition (T1), (Wilcoxon: $p < .05$). Im Kontrollversuch ergab sich eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen FT4-Werte von vor (T0) zu nach der Scheinexposition (T1), (Wilcoxon: $p < .01$). Ebenfalls zeigte sich im Verumversuch zwischen vor (T0) und nach der Exposition (T1) eine hochsignifikante (Wilcoxon: $p < .001$) und im Kontrollversuch zwischen vor (T0) und nach der Scheinexposition (T1), (Wilcoxon: $p < .01$) eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen TSH-Werte. Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/4 = .013$) blieben die Ergebnisse signifikant, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7. Verlauf der durchschnittlichen Schilddrüsenwerte (TSH mU/l, FT3 ng/l, FT4 ng/dl) in den Verum- und den Kontrollphasen

	Messzeitpunkt	Verumversuch			Kontrollversuch		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>
TSH	T0	1.91	0.91	1.74	1.55	0.69	1.56
	T1	1.44	0.06	1.31	1.27	0.51	1.22
FT3	T0	0.41	0.22	0.36	0.45	0.40	0.36
	T1	0.41	0.20	0.35	0.40	0.23	0.35
FT4	T0	1.27	0.29	1.29	1.28	0.18	1.32
	T1	1.24	0.28	1.28	1.24	0.19	1.24

Anmerkungen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch.

3.10.2 Unterschied der durchschnittlichen Schilddrüsenwertkonzentration zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch innerhalb der Phasen (T0/T0, T1/T1)

Die durchschnittliche FT3-Konzentration in dem Verum- und Kontrollversuch unterschied sich weder vor der Exposition (T0, Wilcoxon: $p = .938$) noch nach der Kaltwasser-Scheinexposition (T1, Wilcoxon: $p = .446$) signifikant. Bezüglich der durchschnittlichen FT4-Konzentration in dem Verum- und Kontrollversuch war ebenfalls festzustellen, dass sich zwischen ihnen kein signifikanter Unterschied vor der Exposition (T0, Wilcoxon: $p = .159$) und nach der Kaltwasser-Scheinexposition (T1, Wilcoxon: $p = .112$) zeigte. Vor der Exposition (T0, Wilcoxon: $p = .095$) und nach der Kaltwasser-Scheinexposition (T1, Wilcoxon: $p = .087$) zeigten sich in dem Verum- und Kontrollversuch ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich der durchschnittlichen TSH- Konzentration.

3.11 Kälteempfinden

Im Verum- und im Kontrollversuch korrelierte die postexpositionell (T1) erhobene Kälteeinschätzung negativ, aber nicht signifikant mit der rektalen Körpertemperatur (Verumversuch: $r_{sp} = -.25$, $p = .297$; Kontrollversuch: $r_{sp} = -.14$, $p = .566$). Nach der Kaltwasserexposition (T1) im Verumversuch und nach der Scheinexposition (T1) im Kontrollversuch schätzten die Probanden ihre Körperkernabkühlung subjektiv zu hoch ein. Im Vergleich schätzten die Probanden im Verumversuch ihre Körperkernabkühlung nach der Kaltwasserexposition (T1) hochsignifikant höher ein als die Probanden im Kontrollversuch (Wilcoxon: $p < .001$).

3.12 Hungerempfinden

Der gesamte Energieverbrauch wurde im Verum- und Kontrollversuch bestimmt, indem der Energieverbrauch während der Kaltwasser-Scheinexposition und der Wiedererwärmungsphase summiert wurde. Im Verumversuch korrelierte die Hungereinschätzung am Ende der Wiedererwärmungsphase (T2) negativ, aber nicht signifikant mit dem Energieverbrauch ($r_{sp} = -.07$, $p = .782$). Im Kontrollversuch korrelierte die Hungereinschätzung am Ende der Wiedererwärmungsphase (T2) positiv, aber nicht signifikant mit dem Energieverbrauch ($r_{sp} = .13$, $p = .583$). Im Vergleich schätzten die Probanden im Verumversuch ihr Hungerempfinden signifikant höher ein als die Probanden im Kontrollversuch (Wilcoxon: $p < .01$).

3.13 Statistische Auswerteverfahren

Die Daten der vorliegenden Studie wurden mit dem Programm Excel tabellarisch erfasst und später mit dem Statistikprogramm Statistical Package for Social Sciences (SPSS/PC+ Version 15) ausgewertet. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurden ausschließlich nichtparametrische Testverfahren durchgeführt. Die Veränderungen der rektalen Körpertemperatur, der freien Fettsäuren, des Energieverbrauchs, des respiratorischer Quotienten, der Glucosekonzentration und der Laktatkonzentration zwischen den Phasen wurden innerhalb des Verum- und des Kontrollversuchs mit dem Friedman-Test überprüft, da es sich um abhängige Stichproben handelt. Bei einem signifikanten Ergebnis des Friedman-Tests wurden die Unterschiede dieser Parameter zwischen je zwei Phasen anhand des Wilcoxon-Tests geprüft. Die Unterschiede dieser Parameter zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch pro Phase wurden ebenfalls mit Hilfe des Wilcoxon-Tests analysiert. Die Bestimmung der Zusammenhänge zwischen der Fettmasse bzw. Body Mass Index und der Körpertemperatur sowie der Verweildauer erfolgte anhand der Rangkorrelation nach Spearman. Für die Korrelationsanalyse zwischen den subjektiven Einschätzungen, wie Hunger- und Kälteempfinden und den objektiven Messwerten, wie die Verweildauer und der Energieverbrauch wurde ebenfalls die Korrelation nach Spearman herangezogen.

Die Unterschiede zwischen den Personen mit unterschiedlicher Fettmasse bzw. unterschiedlichem Body Mass Index hinsichtlich der Verweildauer wurden mit Hil-

fe des Kruskal-Wallis-Tests untersucht, da in diesem Fall drei unabhängige Stichproben vorliegen.

Aufgrund der geringen Power wurden nur stärkere Effekte signifikant. Das α -Niveau wurde auf 5% festgelegt. Aufgrund der vielfach durchgeführten Tests kumulierte die Wahrscheinlichkeit für einen α -Fehler, sodass eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt wurde.

3B Ergebnisse der Gruppe 2 (Rhinoresistometriegruppe)

3.1 Rektale Temperatur

3.1.1 Unterschied der durchschnittlichen rektalen Temperatur innerhalb des Verumversuchs zwischen den Phasen (T0/T1, T1/T2, T0/T2)

Durch die Kaltwasserexposition (T1) sank bei den Probanden die durchschnittliche rektale Temperatur im Vergleich zum Ausgangswert (T0) hochsignifikant ab (Wilcoxon: $p < .001$). Die durchschnittliche rektale Temperaturreduktion zwischen der Ausgangsmessung (T0) und der Messung nach dem Versuch (T1) betrug 0.8 °C. Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/3 = .017$) blieb dieser Temperaturunterschied signifikant.

Die Temperaturmessung 30 Minuten nach der Kaltwasserexposition (T2) zeigte einen neuen, nicht signifikanten durchschnittlichen Temperaturabfall um 0.2 °C und war die am niedrigsten gemessene Temperatur (Wilcoxon: $p = .138$). Im Vergleich zur Ausgangsmessung (T0) war die rektale Temperatur am Ende der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase (T2) weiterhin hochsignifikant erniedrigt (Wilcoxon: $p < .001$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{\text{adj}} = .05/3 = .017$) blieb dieser Temperaturunterschied signifikant, siehe Abbildung 12.

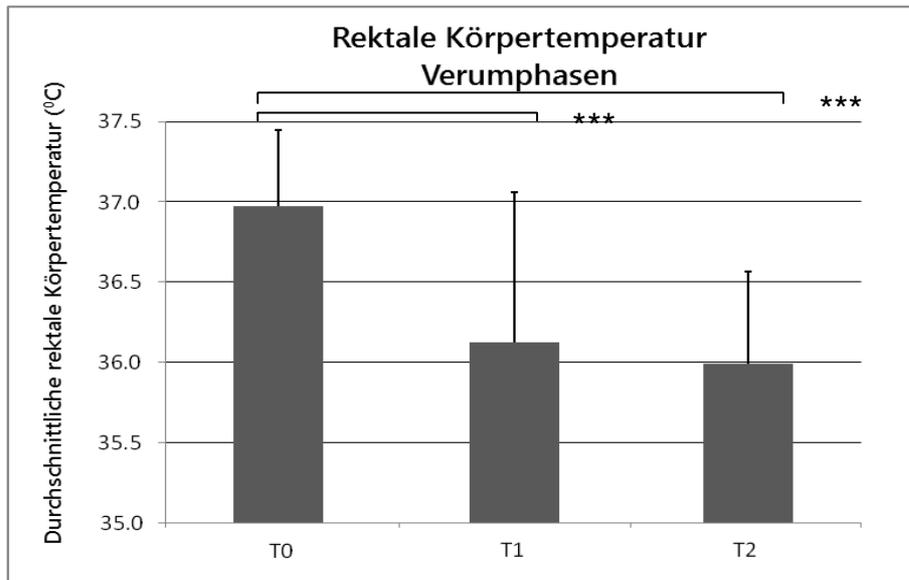


Abbildung 12. Verlauf der durchschnittlichen rektalen Körpertemperatur (°C) in der Verumphase. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$ nach der Bonferroni-Korrektur.

3.1.2 Korrelation des Body Mass Index mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur

Vor dem Versuch (T0) zeigte der unterschiedliche Body Mass Index keinen signifikanten Zusammenhang mit der durchschnittlichen rektalen Temperatur ($r_{sp} = .04$, $p = .846$). Nach dem Versuch (T1) zeigte sich ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen dem Body Mass Index und der durchschnittlichen rektalen Temperatur, die nur knapp die Signifikanz verfehlte ($r_{sp} = .36$, $p = .058$). Nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase (T2) korrelierte die durchschnittliche rektale Temperatur signifikant mit dem Body Mass Index ($r_{sp} = .47$, $p = .011$). Demzufolge ließ sich bei Probanden mit einem niedrigen Body Mass Index nach der Kaltwasserexposition eine durchschnittlich niedrigere rektale Körpertemperatur nachweisen als bei Probanden mit einem höheren. Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/3 = .017$) blieb dieses Ergebnis signifikant.

3.1.3 Korrelation des Body Mass Index mit der Verweildauer im Kaltwasserbad

Die durchschnittliche Verweildauer der Probanden im Kaltwasserbad betrug $M = 35.6$ Minuten ($SD = 13.1$, $Med = 31.5$) und reichte zwischen 11 und 61 Minuten. Zwischen dem Body Mass Index (kg/m^2) und der Verweildauer (Min.) zeigte sich eine signifikante mittlere positive Korrelation ($r_{sp} = .44$, $p = .019$), d.h., dass Probanden mit einem höheren Body Mass Index länger im Kaltwasserbad verweilen konnten als Probanden mit einem Niedrigen. Die unterschiedlichen Body Mass Index Gewichtsklassen zeigten während des Versuchs keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Verweildauer (Kruskal-Wallis: $p = .103$), siehe Tabelle 8.

Tabelle 8. Abhängigkeit der durchschnittlichen Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) von dem Body Mass Index (in Klassen)

Body Mass Index	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	Min – Max
untergewichtig (< 20.0 kg/m^2)	2	27.0	4.2	27	24 – 30
normgewichtig (20.0–24.9 kg/m^2)	17	33.2	13.9	31	11 – 61
übergewichtig (≥ 25.0 kg/m^2)	9	41.9	10.5	42	27 – 60

3.2 Akustische Rhinometrie (ARM)

3.2.1 MCA_2 (minimal cross-sectional area)

Im Vergleich zur Ausgangsmessung (T0) war die durchschnittliche MCA_2 nach dem Versuch (T1) bei 17 Probanden gesunken und bei 11 Probanden angestiegen. Die durchschnittliche MCA_2 veränderte sich aufgrund der Kaltwasserexposition nicht signifikant (Wilcoxon: $p = .306$). Nach der Applikation des Nasensprays ergab die Messung 30 Minuten nach der Kaltwasserexposition (T2) verglichen mit der Ausgangsmessung (T0) und der Messung nach dem Versuch (T1) eine hochsignifikante Erhöhung der durchschnittlichen MCA_2 (T0/T2, Wilcoxon: $p < .001$; T1/T2, Wilcoxon: $p < .001$), siehe Abbildung 13.

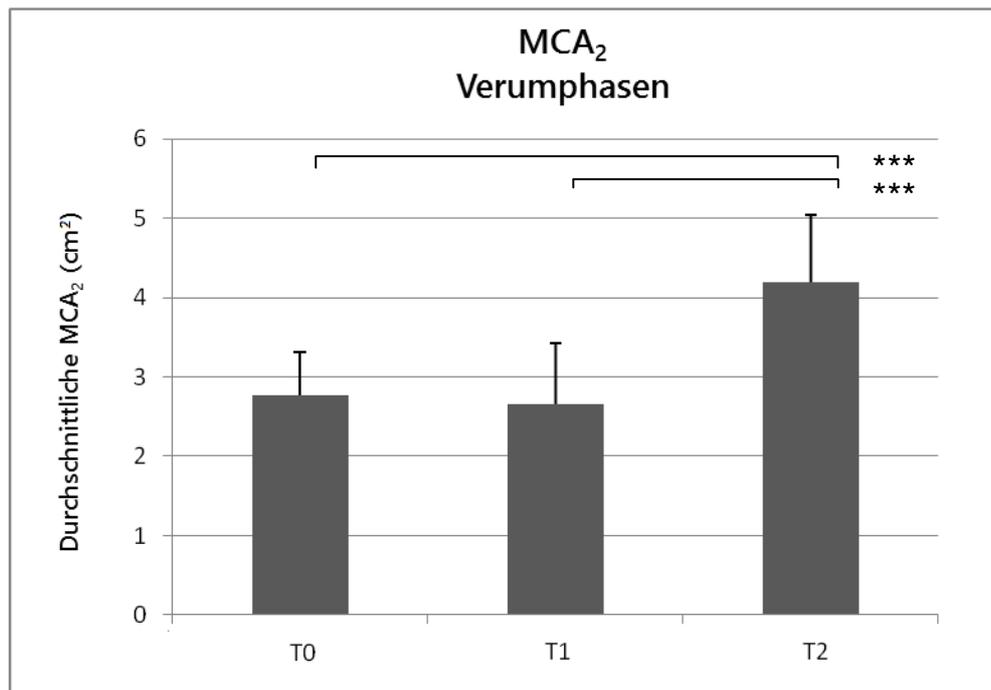


Abbildung 13. Verlauf der durchschnittlichen MCA₂ (cm²) in der Verumphase. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$.

Vor dem Versuch (T0) lag keine signifikante Korrelation zwischen der rektalen Temperatur und der MCA₂ vor. Postexpositionell (T1) korrelierte die durchschnittliche rektale Körpertemperatur tendenziell negativ aber nicht signifikant mit der durchschnittlichen MCA₂. Je niedriger die rektale Körpertemperatur ausfiel, desto mehr trat eine Vergrößerung der durchschnittlichen MCA₂ ein. Das Alter, der Body Mass Index und die Verweildauer im Kältebad ergaben zu den Messzeitpunkten (T0, T1) keine signifikante Korrelationen mit der durchschnittlichen MCA₂, siehe Tabelle 9.

Tabelle 9. Korrelation der durchschnittlichen MCA_2 (cm^3) vor dem Versuch (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m^2), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Temperatur ($^{\circ}C$)

Parameter	T0		T1	
	r_{sp}	p	r_{sp}	p
Alter (Jahre)	-.07	.738	.12	.532
Body Mass Index (kg/m^2)	.25	.197	-.04	.854
Verweildauer (Min.)	–	–	.14	.468
Rektale Körpertemp. ($^{\circ}C$)	.34	.081	-.36	.062

Anmerkungen. r_{sp} = Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Tendenzielle Korrelationen sind *kursiv* und signifikante Korrelationen sind **fett** markiert.

3.3 Rhinoresistometrie (RRM)

3.3.1 Nasaler Durchmesser (Nasaler Diameter)

Im Vergleich zur Ausgangsmessung (T0) war der durchschnittliche nasale Durchmesser nach dem Versuch (T1) bei 18 Probanden gesunken und bei 10 Probanden angestiegen. Der durchschnittliche nasale Durchmesser veränderte sich aufgrund der Kaltwasserexposition nicht signifikant (Wilcoxon: $p = .232$). Nach der Applikation des Nasensprays 30 Minuten nach der Kaltwasserexposition (T2) trat verglichen mit der Ausgangsmessung (T0) und der Messung nach dem Versuch (T1) eine hochsignifikante Erhöhung des durchschnittlichen nasalen Durchmessers ein (T0/T2, Wilcoxon: $p < .01$; T1/T2, Wilcoxon: $p < .01$), siehe Abbildung 14.

Das Alter und die Verweildauer im Kaltwasserbad ergab keine signifikante Korrelation mit dem durchschnittlichen nasalen Durchmesser zu den Messzeitpunkten (T0, T1). Der Body Mass Index korrelierte vor dem Versuch (T0) tendenziell negativ mit dem durchschnittlichen nasalen Durchmesser, d.h. Probanden mit einem höheren Body Mass Index wiesen tendenziell einen geringeren nasalen Durchmesser auf. Dieser Zusammenhang war nicht signifikant. Hingegen wies die durchschnittliche rektale Körpertemperatur nach dem Versuch (T1) eine signifikante negative Korrelation ($r_{sp} = -.50$, $p = .007$) mit dem nasalen Durchmesser auf. Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/2 = .025$) blieb dieses Ergebnis sig-

nifikant. D.h. mit sinkender Körpertemperatur stieg der nasale Durchmesser, siehe Tabelle 10.

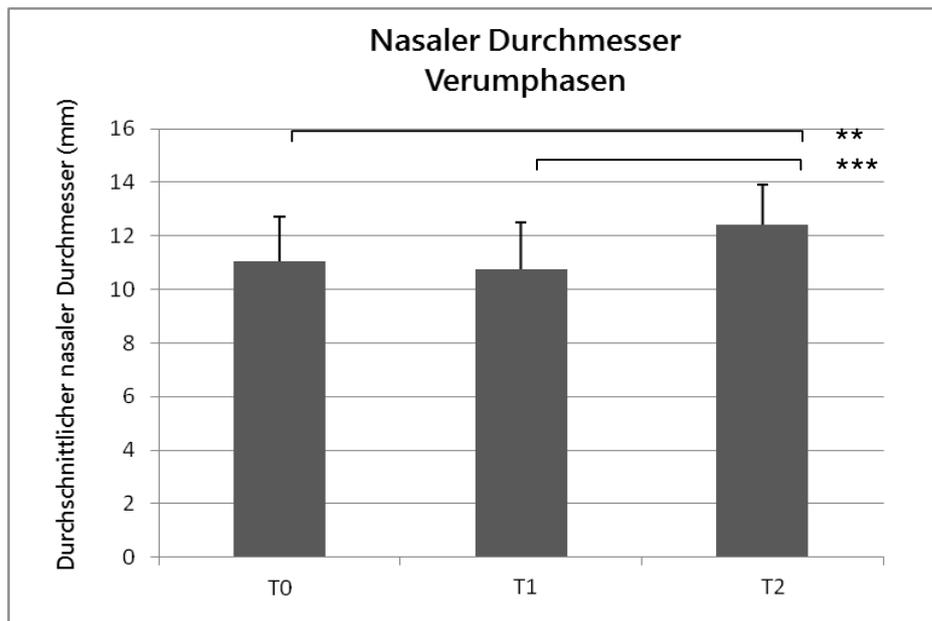


Abbildung 14. Verlauf des durchschnittlichen nasalen Durchmessers (mm) in den Verumphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$.

Tabelle 10. Korrelation des durchschnittlichen nasalen Durchmessers (mm) vor dem Versuch (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m^2), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Körpertemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Einflussparameter	T0		T1	
	r_{sp}	p	r_{sp}	p
Alter (Jahre)	.01	.971	.30	.119
Body Mass Index (kg/m^2)	-.35	.067	-.28	.143
Verweildauer (Min.)	–	–	< .001	.998
Rektale Körpertemp. ($^{\circ}\text{C}$)	.04	.860	-.50	.007

Anmerkungen. r_{sp} = Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Tendenzielle Korrelationen sind *kursiv* und signifikante Korrelationen sind **fett** markiert.

3.3.2 Nasaler Atemwiderstand (Resistance)

Im Vergleich zur Ausgangsmessung (T0) war der durchschnittliche nasale Atemwiderstand nach dem Versuch (T1) bei 15 Probanden gesunken und bei 13 Probanden angestiegen. Eine signifikante Veränderung des durchschnittlichen nasalen Atemwiderstandes fand sich zwischen den beiden Messzeitpunkten nicht (Wilcoxon: $p = .665$). Nach der Applikation des Nasensprays 30 Minuten nach der Kaltwasserexposition (T2) trat verglichen mit der Ausgangsmessung (T0) und der Messung nach dem Versuch (T1) eine hochsignifikante Reduktion des durchschnittlichen nasalen Atemwiderstandes ein (T0/T2, Wilcoxon: $p < .001$; T1/T2, Wilcoxon: $p < .001$), siehe Abbildung 15.

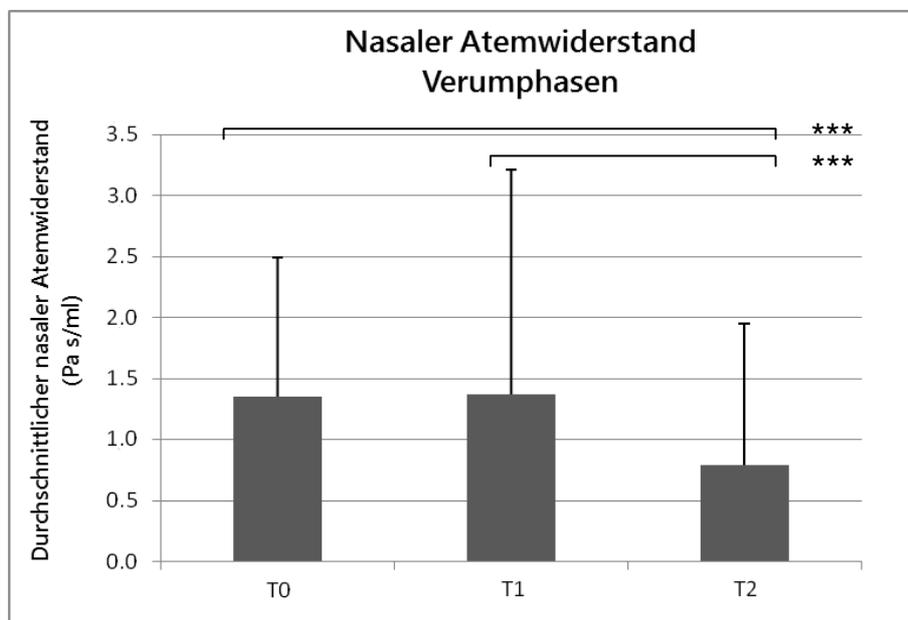


Abbildung 15. Verlauf des durchschnittlichen nasalen Atemwiderstandes bei einem Atemfluss von 250 ml/s (Pa s/ml) in den Verumphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$, ***: $p \leq .001$.

Die durchschnittliche Verweildauer im Kaltwasserbad zeigte keinen Zusammenhang mit dem durchschnittlichen nasalen Atemwiderstand zu den Messzeitpunkten T0 und T1. Zwischen dem Alter der Probanden und dem durchschnittlichen nasalen Atemwiderstand zeigte sich vor (T0) und nach dem Versuch (T1) eine

negative, aber nicht signifikante Korrelation. D.h. die älteren Probanden wiesen tendenziell einen höheren durchschnittlichen nasalen Atemwiderstand auf als jüngere Probanden. Die durchschnittliche rektale Körpertemperatur zeigte vor dem Versuch (T0) keinen Zusammenhang mit dem durchschnittlichen nasalen Atemwiderstand. Demgegenüber wies die durchschnittliche rektale Körpertemperatur nach dem Versuch (T1) eine signifikante positive Korrelation mit dem nasalen Atemwiderstand auf ($r_{sp} = .43$, $p = .023$). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/2 = .025$) blieb dieses Ergebnis signifikant. D.h. mit durchschnittlich sinkender rektaler Körperkerntemperatur reduzierte sich der durchschnittliche nasale Atemwiderstand.

Der Body Mass Index korrelierte positiv und signifikant vor (T0: $r_{sp} = .51$, $p = .006$) und nach dem Versuch (T1: $r_{sp} = .40$, $p = .034$) mit dem durchschnittlichen nasalen Atemwiderstand. Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/2 = .025$) blieb dieses Ergebnis einzig bei T0 signifikant. D.h. bei Probanden mit einem erhöhten Body Mass Index ließ sich in der Ausgangsmessung (T0) ein erhöhter durchschnittlicher nasaler Atemwiderstand nachweisen, siehe Tabelle 11.

Tabelle 11. Korrelation des durchschnittlichen nasalen Atemwiderstandes (Pa s/ml) bei einem Atemfluss von 250 ml/s vor dem Versuch (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m²), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Körpertemperatur (°C)

Einflussparameter	T0		T1	
	r_{sp}	p	r_{sp}	p
Alter (Jahre)	-.11	.571	-.30	.119
Body Mass Index (kg/m ²)	.51	.006	.40	.034
Verweildauer (Min.)	-	-	.15	.433
Rektale Körpertemp. (°C)	.20	.316	.43	.023

Anmerkungen. r_{sp} = Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Tendenzielle Korrelationen sind *kursiv* und signifikante Korrelationen sind **fett** markiert.

3.3.3 Reibungskoeffizient λ (Turbulence Trigger)

Im Vergleich zur Ausgangsmessung (T0) war der durchschnittliche Reibungskoeffizient nach dem Versuch (T1) bei 19 Probanden gesunken und bei 9 Probanden angestiegen. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten (Wilcoxon: $p = .179$). Nach der Applikation des Nasensprays 30 Minuten nach der Kaltwasserexposition (T2) erhöhte sich der durchschnittliche Reibungskoeffizient im Vergleich zur Ausgangsmessung (T0) und zur Messung nach dem Versuch (T1) signifikant (T0/T2, Wilcoxon: $p < .05$; T1/T2, Wilcoxon: $p < .01$), siehe Abbildung 16.

Die durchschnittliche rektale Körpertemperatur korrelierte vor dem Versuch (T0: $r_{sp} = .38$, $p = .047$) signifikant und positiv mit dem durchschnittlichen Reibungskoeffizienten, aber nicht nach dem Versuch (T1). Nach der Bonferroni-Korrektur ($\alpha_{adj} = .05/2 = .025$) erwies sich dieses Ergebnis als nicht signifikant. Das Alter, der Body Mass Index und die durchschnittliche Verweildauer im Kaltwasserbad zeigten zu den Messzeitpunkten T0, T1 keine signifikanten Korrelationen zum durchschnittlichen Reibungskoeffizienten, siehe Tabelle 12.

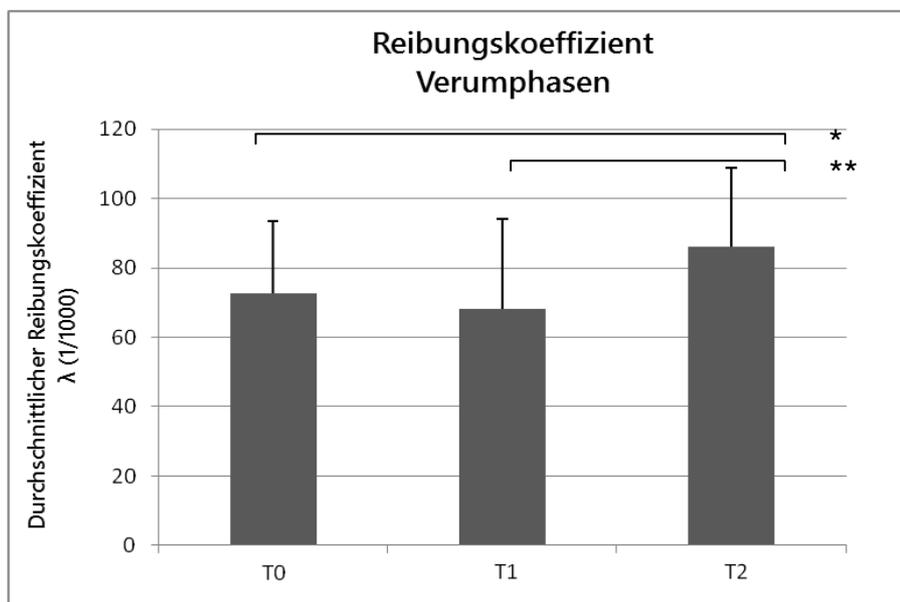


Abbildung 16. Verlauf des durchschnittlichen Reibungskoeffizienten λ (1/1000) in den Verumphasen. T0 = vor dem Versuch, T1 = nach dem Versuch, T2 = nach der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase und 10 Minuten nach der Applikation von Nasenspray. Angaben als Mittelwerte und Standardabweichungen; *: $p \leq .05$, **: $p \leq .01$; ***: $p \leq .001$.

Tabelle 12. Korrelation des durchschnittlichen Reibungskoeffizienten λ (1/1000) vor (T0) und nach dem Versuch (T1) mit dem Alter (Jahre), dem Body Mass Index (kg/m²), der Verweildauer im Kaltwasserbad (Min.) und der rektalen Körpertemperatur (°C)

Einflussparameter	T0		T1	
	<i>r_{sp}</i>	<i>p</i>	<i>r_{sp}</i>	<i>p</i>
Alter (Jahre)	-.04	.860	.14	.478
Body Mass Index (kg/m ²)	.01	.942	.10	.629
Verweildauer im Bad (Min.)	-		-.15	.451
rektale Körpertemp. (°C)	.38	.047	-.13	.494

Anmerkungen. r_{sp} = Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Tendenzielle Korrelationen sind *kursiv* und signifikante Korrelationen sind **fett** markiert.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Fragestellungen in der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss einer moderaten Körperkernabkühlung zum einen auf den Energiestoffwechsel (Gruppe 1) und zum anderen auf die Nasenschleimhautmotorik (Gruppe 2) untersucht. Die in der Einleitung dieser Studie formulierten Fragestellungen der Gruppe 1 konnten anhand der Messungen der indirekten Kalorimetrie folgendermaßen beantwortet werden:

Aufgrund der Kaltwasserexposition trat bei den Probanden eine signifikante Reduktion der Körperkerntemperatur ein. Zusätzlich ließ sich eine geringe aber signifikante Steigerung des Energieumsatzes mit einer Lipolyse und Mobilisation freier Fettsäuren feststellen. Aufgrund des insgesamt aber geringen kälteinduzierten Kalorienmehrverbrauches, in Form von 0.8 kcal/min. gegenüber dem Ruheenergieverbrauch, sehen wir bei Tauchern keinen relevanten kalorischen Mehrbedarf. Eine signifikante kälteinduzierte Ventilationssteigerung ließ sich in unserer Studie nicht nachweisen. Aus aktueller Sicht sehen wir hinsichtlich des Luftverbrauchs keinen Einfluss einer moderaten Kaltwasserexposition auf die Tauchsicherheit. Die postexpositionelle Kälte- und Hungereinschätzung der Probanden zeigte keine Übereinstimmung mit dem Ausmaß der gesunkenen Körperkerntemperatur und dem tatsächlichen Energieverbrauch.

Die in der Einleitung dieser Studie formulierten Fragestellungen der Gruppe 2 konnten anhand der Messungen der Akustischen Rhinometrie und Rhinoresistometrie folgendermaßen beantwortet werden: Die während der Kaltwasserexposition signifikant erniedrigte Körperkerntemperatur hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Schwellungszustand der Nase. Dennoch wiesen einige Parameter der Rhinoresistometrie auf eine kälteinduzierte Nasenschleimhautabschwellung hin. Bei zunehmender sinkender Körperkerntemperatur trat sowohl eine signifikante Vergrößerung des nasalen Durchmessers als auch eine signifikante Reduktion des nasalen Widerstandes ein. Zusammenfassend ließ sich in unserer Studie unter einer moderaten Kaltwasserexposition keine Nasenschleimhautschwellung nachweisen. Wir sehen daher für den Taucher keine erhöhten

Risiken während des Tauchgangs im moderat kühlen Wasser, Probleme beim Druckausgleich zu entwickeln.

4.2 Diskussion der Methodik

4.2.1 Versuchsdurchführung in der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

In der Gruppe 1 sah das Studiendesign die Teilnahme der Probanden an einem Verumversuch und zum Erhalt von Referenzdaten an einem Kontrollversuch vor. Dadurch war es möglich, die Effekte bei moderater Abkühlung im Kaltwasser bei konstanten Rahmenbedingungen zu untersuchen und für jeden Probanden die individuellen Kontrollwerte zu erheben. In dem Kontrollversuch waren die Versuchsdauer und der Ablauf bis auf die Kaltwasserexposition mit dem Verumversuch identisch. Die Scheinexposition wurde stets nach der variablen, vom individuellen Beendigungszeitpunkt abhängigen Verumexposition durchgeführt. Die Beobachtungsdauer umfasste den Einfluss einer moderat erniedrigten Körperkerntemperatur auf den Energieumsatz zum einen während der Kaltwasserexposition und zum anderen während der aktiven 2-stündigen Wiedererwärmungsphase. Anhand dieser längeren postexpositionellen Nachbeobachtung konnte somit eine weiterführende Stoffwechselbeobachtung erfolgen. Während des gesamten Versuchsablaufes erfolgte eine kontinuierliche EKG-Ableitung mit der Erhebung des Blutdruck- und Herzfrequenzverlaufs. Aufgrund von Artefakten waren diese Messergebnisse jedoch nicht verwertbar, wobei zu bemerken ist, dass die Erhebung der Herzfrequenzwerte für unsere Energieumsatzberechnung keine große Rolle spielten. In der Gruppe 2 wurde kein Kontrollversuch durchgeführt, da repräsentative Daten über Schwellungszustände der Nase unter Normbedingungen zur Verfügung standen und diese zum Vergleich herangezogen werden konnten (Christophersen, Enssen, Mlynski & Mlynski, 2004).

Die Länge der Kaltwasserexposition wurde von den Probanden der Gruppe 1 und 2 individuell bestimmt. Der Studienteilnehmer verließ das Kaltwasserbad nach eigenem Ermessen und beim Erreichen seiner Kältetoleranzgrenze. In einem Fall erfolgte der vorzeitige Abbruch durch den Leiter, da ein starkes Kältezittern eintrat, und eine weitere Abkühlung des Probanden ärztlich nicht mehr vertretbar erschien. Obwohl dadurch eine uneinheitliche Expositionsdauer der Probanden

entstand, wäre für uns ein anderes Vorgehen ethisch nicht vertretbar gewesen. Außerdem sollte die Versuchsdurchführung realen Bedingungen entsprechen, da in der Regel auch ein Taucher seinen Tauchgang vorzeitig beendet, wenn seine Kältetoleranzgrenze erreicht ist.

4.3 Diskussion der Ergebnisse der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe) und 2 (Rhinoresistometriegruppe)

4.3.1 Rektale Temperatur

In der vorliegenden Studie war als Ausgangspunkt die Hypothese formuliert worden, dass eine bis zur Akzeptanzgrenze andauernde Exposition in 18 °C kühlem Wasser zu einem Absinken der Körperkerntemperatur führt. In unserer Studie ließ sich unter einer moderaten Kaltwasserexposition in der Gruppe 1 und 2 eine signifikante Reduktion der Körperkerntemperatur nachweisen.

Trotz des Aufenthaltes in einem 23 °C temperierten Ruheraum ließ sich im Kontrollversuch in der Gruppe 1 während der Scheinexposition eine geringe aber signifikante Erniedrigung der Körperkerntemperatur feststellen. Am Ende der Versuchsdurchführung lag im Kontrollversuch kein signifikanter Unterschied der Körperkerntemperatur zu dem Ausgangswert vor, da eine, wenn auch nicht signifikante, Körpertemperaturerhöhung eingetreten war. Im Vergleich führte die Kaltwasserexposition im Verumversuch gegenüber dem Kontrollversuch allerdings wie erwartet in allen Phasen dennoch zu einer signifikanten Erniedrigung der rektalen Temperatur. Wie in der Literatur beschrieben, sehen wir die Ursache in der 25 Mal höheren Wärmeleitfähigkeit des Wassers mit Entzug der Körperwärme (Liedtke, 2012).

Obwohl sich die Probanden der Gruppe 1 und 2 während ihrer aktiven Wiedererwärmungsphase innerhalb des 23 °C temperierten Ruheraumes befanden, konnte 30 Minuten nach dem Ende der Kaltwasserexposition ein erneuter, wenn auch nicht signifikanter, Körperkerntemperaturabfall nachgewiesen werden. Das erneute Absinken der Körperkerntemperatur während der Wiedererwärmungsphase wird von Wissenschaftlern wie Van Marken Lichtenbelt und Daanen (2003), Marino und Booth (1998), Hayward, Eckerson und Kemna (1984) sowie Romet (1988) als „After drop“ bezeichnet. Aufgrund der eintretenden Vasodilatation der

peripheren Hautgefäße führt das von der Peripherie in Richtung des Körperkerns einströmende kühle Blut zu einer erneuten Erniedrigung der Körperkerntemperatur. Dieser Pathomechanismus birgt die Gefahr eines Kreislaufsversagens und ist bei ausgekühlten Tauchern eine gefürchtete Komplikation (Liedtke, 2012).

Die rektalen Ausgangstemperaturwerte wurden weder in der Gruppe 1 innerhalb der 120-minütigen, noch in der Gruppe 2 innerhalb der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase erreicht. Da der erhöhte Energieumsatz in der Gruppe 1 während der Kaltwasserexposition wider Erwarten postexpositionell absank, sehen wir darin die Ursache für die nicht eingetretene vollständige Wiedererwärmung am Ende des Versuches.

4.3.2 Korrelation des Body Mass Index und der Fettmasse mit der rektalen Temperatur

Nur in der Gruppe 2 konnte, wie in der Fragestellung formuliert, eine signifikante Korrelation zwischen dem Body Mass Index und der Körperkerntemperatur nachgewiesen werden. Am Ende der 30-minütigen Wiedererwärmungsphase ließ sich bei Probanden mit einem höheren Body Mass Index signifikant höhere und bei Probanden mit einem geringeren Body Mass Index signifikant niedrigere Körperkerntemperaturen feststellen. In der Gruppe 1 zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Body Mass Index und der Fettmasse hinsichtlich der rektalen Temperatur. Die Ursache für die diskrepanten Ergebnissen beider Gruppen könnte in der uneinheitlichen Gruppenzusammensetzung und der geringen Probandenzahl innerhalb der Gruppe 1 ($n = 19$) liegen. Zudem war die durchschnittliche Kaltwasserexpositionsdauer der Gruppe 2 im Vergleich zur Gruppe 1 länger. In beiden Gruppen jedoch verweilten Probanden mit einem höheren Body Mass Index signifikant länger im Kaltwasserbad bis ihre subjektive Kältetoleranzgrenze erreicht war. In der Gruppe 1 ließ sich eine signifikante positive Korrelation der Fettmasse mit der Verweildauer im Kaltwasserbad nachweisen. Eine Körperfettmassenbestimmung anhand der Body Impedance Analyse fand in der Gruppe 2 nicht mehr statt, da diese zusätzliche Untersuchung für unsere Fragestellung zu komplex erschien. Insgesamt finden sich ähnlich formulierte Ergebnisse in den Studien von Keatinge (1960, 1972), Hayward und Keatinge (1981) sowie McArdle, Magel, Gergley, Spina und Toner (1984), die dem subku-

tanen Fettgewebe eine wichtige Funktion der Wärmeisolation zugeschrieben. Zudem besitzt sie, wie von Hensel (1973) formuliert, im Vergleich zu der Muskulatur einen höheren Wärmedurchgangswiderstand. Auch wir sehen die daraus resultierende verminderte Wärmeabgabe und die stärkere Wärmeisolation ursächlich für den geringeren Abfall der Körperkerntemperatur und das längere Verweilen im Kaltwasserbad.

4.4 Diskussion der Ergebnisse der Gruppe 1 (Energieumsatzgruppe)

4.4.1 Sauerstoffaufnahme

Im Verumversuch zeigte sich während der Kaltwasserexposition gegenüber dem Kontrollversuch während der Scheinexposition eine signifikant erhöhte Sauerstoffaufnahme. Während der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase reduzierte sich die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme im Verumversuch, so dass zum Ende der Versuchsdurchführung kein signifikanter Unterschied gegenüber dem Kontrollversuch vorlag.

4.4.1.1 Korrelation der Körperfettmasse mit der Sauerstoffaufnahme

Bei differenzierter Betrachtung zeigten unsere Ergebnisse eine negative Korrelation der Körperfettmasse mit dem Sauerstoffverbrauch. Nach der Einteilung der Probanden in unterschiedliche Körperfettklassen konnte während der Kaltwasserexposition bei Probanden mit einer geringen Körperfettmasse (11–19%) gegenüber Probanden mit einem erhöhten Körperfettanteil ($\geq 20\%$) ein signifikant erhöhter durchschnittlicher Sauerstoffmehrverbrauch beobachtet werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen die Autoren Mekjavic, Mittleman und Kakitsuba (1987), Glickman-Weiss, Goss, Robertson, Metz und Cassinelli (1991) sowie McArdle et al. (1984). Die Ursache für den signifikant erhöhten durchschnittlichen Sauerstoffverbrauch in unserer Probandengruppe mit geringerem Fettmassenanteil (11–19%) sehen wir in der daraus resultierenden verminderten Wärmeisolation. Gegenüber Probanden mit einer vermehrten Körperfettmasse und einer damit proximal betonten Wärmeisolation (Wijers, Saris & Van Marken Lichtenbelt, 2010) benötigen sie den erhöhten Sauerstoffverbrauch zur Energiegewinnung und Wärmebildung.

In unserer Studie konnte hingegen bei Probanden mit einem Körperfettanteil $\leq 10\%$ während der Kaltwasserexposition keine signifikante Erhöhung der Sauerstoffaufnahme nachgewiesen werden. Als mögliche Ursache für die fehlende Signifikanz sehen wir in der kleinen Fallzahl von $n = 3$ Probanden.

4.4.2 Energieverbrauch

Bei der Durchsicht der Vergleichsliteratur zeigte sich, dass sich viele Arbeitsgruppen mit der Fragestellung beschäftigten, welchen Einfluss externe Kältereize auf den menschlichen Energieumsatz haben. In diesem Zusammenhang lassen sich schon frühe Studien finden, die einen Anstieg des Stoffwechsels unter Kältebedingungen nachwiesen (Cannon & Keatinge, 1960; Keatinge, 1960).

Der anhand der Sauerstoffaufnahme in unserer Studie gemessene mittlere Energieverbrauch war im Verumversuch während der Kaltwasserexposition gegenüber der Scheinexposition im Kontrollversuch signifikant erhöht. Der durchschnittliche Kalorienverbrauch lag während der Kaltwasserexposition innerhalb des Verumversuchs bei $M = 2.3$ kcal/min. ($SD = 0.5$, $Med = 2.5$) und während der Scheinexposition innerhalb des Kontrollversuchs bei $M = 1.9$ kcal/min. ($SD = 0.3$, $Med = 1.9$). Postexpositionell sank der mittlere Energieverbrauch im Verumversuch ab und näherte sich den Werten des Kontrollversuchs an. Bei einer individuellen Expositionsdauer der Probanden im Kaltwasser mit einem Median von 30 Minuten ergab sich aus der Differenz des errechneten Kalorienverbrauchs (auf Basis der Mediane) zwischen dem Verum- und Kontrollversuch nur ein kälteinduzierter kalorischer Mehrbedarf von 18 kcal. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Energieverbrauch auch im Kontrollversuch durch die nicht ausreichend thermoneutralen Raumbedingungen leicht gesteigert war. Daher wurde von uns der kälteinduzierte durchschnittliche Energieverbrauch mit dem Ruheenergieverbrauch unserer Probanden von durchschnittlich 1.5 kcal/min. verglichen. Somit ließ sich anhand der 30-minütigen bis zur Akzeptanzgrenze in körperlicher Ruhe andauernden Kaltwasserexposition nur ein kalorischer Mehrbedarf von 30 Kilokalorien feststellen. In unserer Studie ließ sich unter der ohne körperliche Aktivität ablaufenden moderaten Kaltwasserexposition kein relevanter kalorischer Mehrbedarf nachweisen.

4.4.3 Ventilation

Im Verumversuch ließ sich während der Kaltwasserexposition verglichen mit der Scheinexposition keine signifikante Zunahme der durchschnittlichen Ventilation feststellen. Auch in der darauffolgenden Wiedererwärmungsphase lag kein signifikanter Unterschied vor. Eine ergänzende Differenzierung des Probandenklientels in unterschiedliche Fettklassen zeigte keinen signifikanten Einfluss. Somit konnte in unserer Studie während der moderaten Kaltwasserexposition in Ruhe kein erhöhter Luftbedarf nachgewiesen werden, der Einfluss auf die Tauchsicherheit haben könnte. Allerdings musste unsere eingangs formulierte Hypothese einer relevanten Steigerung des Luftverbrauchs verworfen werden, so dass wir die Nullhypothese annahmen. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der Arbeit von Haman et al. (2002). Die Wissenschaftler exponierten Probanden, die mit einem flüssigkeitsgeschützten Schutzanzug bekleidet waren, für 2 Stunden in 10 °C kühlem Wasser und wiesen eine signifikante Ventilationssteigerung während der Immersion nach. Diese Studie ist aus unserer Sicht wegen des stärkeren Kältereizes und der prolongierten Exposition mit unseren moderaten und am tatsächlichen Tauchverhalten orientierten Bedingungen allerdings nicht zu vergleichen.

4.4.4 Respiratorischer Quotient

Zwischen dem Verum- und Kontrollversuch lag weder während der Kaltwasser- und der Scheinexposition noch während der Aufwärmphase ein signifikanter Unterschied des respiratorischen Quotienten vor. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der Studie von Celi et al. (2010), die während einer 12-stündigen Kälteexposition in einem 19 °C kühlen Raum neben einer Lipolyse mit einer Erhöhung freier Fettsäuren auch eine Erniedrigung des respiratorischen Quotienten nachwies. Die Ursache für das nicht übereinstimmende Ergebnis könnte an der kürzeren, individuell limitierten Kälteapplikationsdauer in unserer Studie liegen.

4.4.5 Lipidstoffwechsel

4.4.5.1 Freie Fettsäuren

Die in unserer Einleitung formulierte Fragestellung, inwiefern eine moderate Körperkernabkühlung zu einer Aktivierung des Fettstoffwechsels mit einer Freisetzung freier Fettsäuren führt, konnte bestätigt werden.

In dem Verumversuch zeigte sich im Vergleich zum Kontrollversuch nach der Kaltwasserexposition eine Fettstoffwechselaktivierung mit einer Lipolyse und einer signifikanten Erhöhung der freien Fettsäuren. Die Ergebnisse unserer Studie hinsichtlich einer kälteinduziert eingetretenen Fettoxidation mit einer signifikanten Mobilisation freier Fettsäuren stimmen mit denen von Doi, Ohno, Kurahashi und Kuroshima (1979) überein. Die Wissenschaftler untersuchten wie wir die zitterfreie Wärmebildung, indem sie Probanden im Gegensatz zu unserer Studie allerdings 60 Minuten lang in einem 10 °C kühlen Raum exponierten. Als möglichen Erklärungsansatz für die übereinstimmenden Ergebnisse sehen wir, wie von Weber und Haman (2005) formuliert, in der moderaten und kurzen Kälteexposition in beiden Studien. Zusätzlich hemmten die Wissenschaftler Doi et al. (1979) in ihrer Studie durch die orale Gabe von Nicotinsäure die kälteinduzierte Fettoxidation. Neben einer verminderten Freisetzung der freien Fettsäuren kam es im Gegensatz zur Kontrollgruppe zu einem Rückgang der kälteinduzierten Wärmebildung und zu einer Zunahme des Kältezitterns. Somit konnte gezeigt werden, dass die Fettoxidation maßgeblich an der zitterfreien Wärmebildung beteiligt ist. In mehreren wissenschaftlichen Studien ließ sich neben einer kälteinduzierten Lipolyse ein Anstieg des Noradrenalins als Transmitter des sympathischen Nervensystems nachweisen (Celi et al., 2010; Johnson et al., 1977; Leppäluoto, Korhonen, Hutunen & Hassi, 1988; Smith, Deuster, Ryan & Doubt, 1990; Šrámek, Šimečková, Janský, Šavlíková & Vybiral, 2000; Wilkerson, Raven, Bolduan & Horvath, 1974). Wir vermuten daher die Ursache für die eingetretene Lipolyse in unserer Studie in einer kälteinduzierten Aktivierung des sympathischen Nervensystems. Wie von Jänig (2011) beschrieben, wird dabei den Katecholaminen Adrenalin und Noradrenalin eine durch den Sympathikus vermittelte lipolytische Wirkung an den adrenergen β_2 -Rezeptoren der Fettzellen im weißen Fettgewebe zugesprochen (Jänig, 2011). Auch wir sehen die Freisetzung der freien Fettsäuren aufgrund der

kurzen und moderaten Kaltwasserexposition als eine Lipolyse im weißen und nicht im braunen Fettgewebe.

Das in den letzten Jahren beim Erwachsenen hingegen identifizierte braune Fettgewebe liegt gegenüber dem Weißen mengenmäßig geringer und nur im Hals- und Rückenbereich vor (Virtanen et al., 2009). Van Marken Lichtenbelt et al. (2009) wiesen bei Probanden eine Aktivitätssteigerung des braunen Fettgewebes erst während einer prolongierten mehrstündigen Exposition in einem 16 °C kühlen Raum nach. Zusätzlich beschrieben sie eine negative Korrelation zwischen übergewichtigen Probanden mit einer erniedrigten Aktivität ihres braunen Fettgewebes.

4.4.5.2 Triglyceride

Im Verum- und Kontrollversuch ließ sich keine Reduktion, sondern eine postexpositionelle Zunahme der durchschnittlichen Triglyceridkonzentration feststellen. In dem Verumversuch stieg die Konzentration nach der Kaltwasserexposition gegenüber der Scheinexposition signifikant stärker an. Prä- und postexpositionell ließ sich zwischen dem Verumversuch und dem Kontrollversuch jedoch kein signifikanter Unterschied feststellen. Insgesamt sehen wir die Ursache für den Anstieg der durchschnittlichen Triglyceridkonzentration in dem Verum- und Kontrollversuch als eine postprandiale Resorption. Bei den Probanden im Verumversuch ließ sich im Vergleich mit den Probanden im Kontrollversuch ein erhöhter Anstieg ihrer durchschnittlichen Triglyceridkonzentration feststellen. Die Ursache könnte möglicherweise in der uneinheitlichen Menüaufnahme vor der Versuchsdurchführung liegen.

4.4.6 Kohlenhydratstoffwechsel

4.4.6.1 Glucose

Im Verumversuch war nach der Kaltwasserexposition eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen Glucosekonzentration festzustellen. Demgegenüber war im Kontrollversuch nach der Scheinexposition zwar eine Reduktion nachweisbar, die jedoch nicht statistisch signifikant war. Im Vergleich zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch lagen keine signifikanten Unterschiede der durchschnittlichen prä- und postexpositionellen Glucosekonzentration vor. Dieses Er-

gebnis ähnelt den Beobachtungen von Martineau und Jacobs (1988), Tikuisis, Jacobs, Moroz, Vallerand und Martineau (2000), Haman et al. (2002) sowie Weber und Haman (2005), die in ihren Studien nur eine geringe Reduktion der Plasmaglukose unter einer Kälteapplikation feststellten. Die Wissenschaftler schätzten in ihren Studien den Beitrag der Glucoseoxidation als Energiebereitstellung und Wärmebildung im Vergleich zur Fettoxidation als gering ein. Die Ursache für die Erniedrigung der durchschnittlichen Glucosekonzentration im Verlauf in beiden Versuchsdurchführungen vermuten wir in dem postprandial ausgeschütteten Insulin, da die Versuchsdurchführung nach dem Mittagessen durchgeführt wurde. Die unterschiedliche Nahrungsaufnahme innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs mag auch hier einen Einfluss auf das Ergebnis gehabt haben.

4.4.6.2 Laktat

Sowohl im Verum- als auch im Kontrollversuch ließ sich postexpositionell eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen Laktatkonzentration feststellen, möglicherweise aufgrund der verminderten körperlichen Aktivität während der Expositionen. Zwischen dem Verum- und dem Kontrollversuch lag kein signifikanter Unterschied der durchschnittlichen Laktatkonzentration vor. Im Gegensatz zu den Studien von Martineau und Jacobs (1988), Haman et al. (2002) sowie Tikuisis et al. (2000), die eine Erhöhung des Laktatwertes unter einer Kälteexposition beobachteten, war in unserer Studie keine anaerob-laktazide Energiebereitstellung eingetreten. Insgesamt muss beachtet werden, dass die Kälteapplikation in den genannten Studien im Gegensatz zu unserer kurzen Kaltwasserexposition deutlich prolongierter war.

4.4.7 Hormonstoffwechsel

4.4.7.1 Cortisol

Die durchschnittlichen Cortisolwerte reduzierten sich während der Kaltwasserexposition sowohl im Verumversuch als auch während der Scheinexposition signifikant. Im Verumversuch waren die durchschnittlichen Cortisolwerte in der Ausgangsmessung signifikant höher, wobei postexpositionell kein signifikanter Unterschied zu den Werten des Kontrollversuchs vorlag. Eine mögliche Ursache für dieses unterschiedliche Ergebnis könnte innerhalb des Verumversuchs in einer vermehrten präexpositionellen Stressbelastung der Probanden liegen. Bei unse-

rer Studie handelte es sich nicht um eine Blindstudie. Die Probanden wussten über die anstehende Kaltwasserexposition Bescheid. Sowohl im Verum- als auch im Kontrollversuch reduzierten sich die durchschnittlichen Cortisolwerte während der Expositionsphase signifikant. Als mögliche Erklärung für die postexpositionelle Reduktion in beiden Versuchsreihen sehen wir in dem tagesrhythmischen Absinken des Cortisolspiegels. Dieses Ergebnis entspricht den Aussagen von Frank et al. (1997), Šrámek et al. (2000) und Leppäluoto et al. (1988). Die Wissenschaftler konnten in ihren Studien ebenfalls keinen Einfluss einer moderaten und kurzen Kälteexposition auf die adrenocorticale Achse mit einer Erhöhung des Cortisols nachweisen. Die Wissenschaftler beobachteten in ihren Studien während der Kälteexposition lediglich eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems mit einer Erhöhung des Norepinephrins. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu anderen Arbeiten. Die Autoren Wilkerson et al. (1974) und Celi et al. (2010) beobachteten unter Kälteexposition neben einer erhöhten Freisetzung des Norepinephrins eine Aktivierung des adrenocorticalen Systems. Mit zunehmendem Kältereiz und prolongierter Exposition wiesen sie hingegen eine kälteinduzierte Erhöhung des Serumcortisols nach. Hierbei muss betont werden, dass sich diese Studien hinsichtlich des Kältereizes von unserer unterscheiden. Wilkerson et al. (1974) exponierte unbedeckte Probanden für 2 Stunden an eine Raumtemperatur von unter 15 °C. Celi et al. (2010) exponierte Probanden für 12 Stunden an eine 19 °C kühle Raumtemperatur. Diese Studien sind daher aufgrund des Ausmaßes und der Dauer des stärker applizierten Kältereizes mit unserer Studie nicht zu vergleichen.

4.4.7.2 Schilddrüsenhormone (TSH, FT3, FT4)

Die durchschnittliche FT4- und die TSH-Konzentration waren postexpositionell sowohl im Verum- als auch im Kontrollversuch signifikant gesunken. Auch wenn nur im Kontrollversuch eine signifikante Reduktion des FT3 festzustellen war, ließ sich insgesamt kein signifikanter Unterschied der prä- und postexpositionell erhobenen Werte zwischen dem Verum- und Kontrollversuch feststellen. Somit kam es in unserer Studie weder zu einer Aktivierung der Hypophyse noch der Schilddrüse, so dass sich keine kälteinduzierte vermehrte Freisetzung des TSH oder der Schilddrüsenhormone nachweisen ließen. Die vorliegenden Ergebnisse ähneln denen von Leppäluoto et al. (1988). Die Ursache für die übereinstimmen-

den Ergebnisse sehen wir in dem gemäßigt applizierten Kältereiz und der kurzen Kälteexposition beider Studien, so dass es zu keiner Aktivierung der Hypophysen-Schilddrüsenachse kam. Diese Ergebnisse widersprechen denen der Wissenschaftler Celi et al. (2010), die während einer Kälteexposition ein Anstieg der Schilddrüsenwerte feststellten. Insgesamt muss auch hier beachtet werden, dass das hier angewandte Studiendesign sich von unserem unterschied. Die durchgeführte Kälteexposition erfolgte in dieser Studie für 12 Stunden in einer 19 °C kühlen Umgebungstemperatur. Diese Studie ist daher aufgrund des unterschiedlich applizierten Kältereizes mit unserer nicht zu vergleichen. Wie in der Literatur beschrieben, setzt eine hormonale Thermogenese erst bei längeren Kälteanpassungsvorgängen ein (Persson, 2011). Wir vermuten daher, dass erst eine verlängerte Kälteexposition eine Aktivierung der Hypophysen- Schilddrüsenachse bewirkt.

4.4.8 Kälteempfinden

Die Probanden bewerteten ihr postexpositionell erhobenes subjektives Kälteempfinden anhand von Symptomfragebögen. Bei den Probanden ließ sich sowohl in dem Verumversuch nach der Kaltwasserexposition als auch nach der Scheinexposition keine signifikante Korrelation zwischen der postexpositionellen Reduktion ihrer Körperkerntemperatur und dem angegebenen Maß ihres subjektiven Kälteempfindens nachweisen. In beiden Versuchsdurchführungen gaben die Probanden ein erhöhtes subjektives Kälteempfinden an, welches nicht mit dem Ausmaß ihrer erniedrigten Körperkerntemperatur übereinstimmte. Im Vergleich schätzten die Probanden innerhalb des Verumversuchs ihre postexpositionelle Körperkernabkühlung und das Ausmaß ihres Kälteempfindens signifikant höher ein als die Probanden im Kontrollversuch. Die Ursache dieser Ergebnisse sehen wir in der individuellen Kälteschwelle und Kälteempfindlichkeit der einzelnen Probanden. Unsere eingangs formulierte Hypothese, dass es keine Diskrepanz zwischen dem subjektiven Kältegefühl und der erniedrigten Körperkerntemperatur nach der Kaltwasserexposition gibt, musste verworfen werden. Die Nullhypothese wurde angenommen.

4.4.9 Hungerempfinden

Die Probanden bewerteten ihr subjektives Hungerempfinden am Ende der 120-minütigen Wiedererwärmungsphase anhand von Symptomfragebögen. Bei den Probanden ließ sich in dem Verum- und in dem Kontrollversuch keine signifikante Korrelation zwischen dem tatsächlichen Energieverbrauch und dem Ausmaß ihres Hungergefühls nachweisen. Die Probanden gaben in beiden Versuchsgruppen ein stärkeres Hungergefühl an, welches nicht mit dem tatsächlichen Energieverbrauch übereinstimmte. Innerhalb des Verumversuchs gaben die Probanden ein signifikant stärkeres Hungergefühl an als die Probanden innerhalb des Kontrollversuchs. Ähnlich formulierte Ergebnisse über ein vermehrtes Hungerempfinden nach einer Immersion im Wasser finden sich in der aktuellen Literatur. Halse, Wallmann und Guelfi (2011) untersuchten in ihrer Studie das Essverhalten von Probanden, die sich nach einem körperlichen Training für 20 Minuten zum einen im kalten (15 °C) und zum anderen im warmen Wasser (33 °C) aufhielten. Unabhängig von der Wassertemperatur war die postexpositionell konsumierte Nahrungsmenge der Probanden im Vergleich zu denen, die nicht exponiert waren, erhöht. White, Dressendorfer, Holland, McCoy und Ferguson (2005) verglichen den Energieverbrauch und die Nahrungsaufnahme nach einer 45-minütigen Wassergymnastik. Trotz ähnlichem Energieverbrauch innerhalb beider Gruppen konsumierten die Probanden, die im kalten Wasser exponiert waren, im Anschluss 44% mehr Kalorien. Ähnlich formulierte Ergebnisse finden sich in der Studie von Zeyl, Stocks, Taylor und Jenkins (2004), die bei Probanden nach einer 60-90 minütigen Exposition in einem 18 °C kühlem Wasserbad eine vermehrte postexpositionelle Nahrungsaufnahme feststellten. Interessanterweise wiesen die Wissenschaftler zusätzlich eine kälteinduzierte Absenkung des Sättigungshormons Leptin nach, das, wie in der Literatur beschrieben, von Fettzellen gebildet wird und das Sättigungsgefühl reguliert (Lang, 2011). Wir vermuten, wie in der Studie von Zeyl et al. (2004) beschrieben, dass die Reduktion des Sättigungshormons Leptin ursächlich für das vermehrte postexpositionelle Hungerempfinden unserer Probanden verantwortlich sein kann. Unsere eingangs formulierte Hypothese, dass keine Diskrepanz zwischen dem subjektiven Hungerempfinden und dem tatsächlichen Energieverbrauch nach der Wiedererwärmungs-

phase vorliegt, musste verworfen werden. Die Nullhypothese wurde angenommen.

4.5 Diskussion Gruppe 2 (Rhinoresistometrie)

4.5.1 Diskussion der Methodik: Akustische Rhinometrie (ARM) und Rhinoresistometrie (RRM)

Zur Messung der Nasenmotorik verwendeten wir als Untersuchungstechniken die Akustische Rhinometrie und die Rhinoresistometrie. Bei der Rhinoresistometrie handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Rhinomanometrie, welche zusätzliche Informationen zu Vorgängen im Bereich der Nasenatmung liefert (Mlynski & Löw 1993; Temmel et al. 1998). Bei der Rhinoresistometrie werden der Atemwiderstand und der Strömungscharakter graphisch in Abhängigkeit von der Atemvolumengeschwindigkeit dargestellt. Die Weite der Nase wird über den hydraulischen Durchmesser definiert, die Wandbeschaffenheit, die Turbulenzen auslösen kann, wird mit der einheitslosen Kennzahl λ charakterisiert. Wird ein erhöhter Widerstand gemessen, kann anhand der Rhinoresistometrie differenziert werden, ob eine nasale Einengung anhand des nasalen Durchmessers und/oder eine erhöhte Turbulenzbildung vorliegt (Mlynski, 2003). Wie von den Autoren Grützenmacher, Lang und Mlynski (2003) sowie Lang, Grützenmacher, Mlynski, Plontke und Mlynski (2003) beschrieben, wird die Kombination der Akustischen Rhinometrie und der Rhinoresistometrie empfohlen, da sie sich in der Diagnostik ergänzen. Zudem erlauben die Messverfahren Einblicke in die Nasenphysiologie und geben Auskunft über die funktionellen Veränderungen während des nasalen Zyklus.

4.5.2 Diskussion der Ergebnisse: Akustische Rhinometrie und Rhinoresistometrie

Während der Exposition im kühlen Wasser trat keine Nasenschleimhautschwellung mit einer Reduktion des nasalen Durchmessers, des Reibungskoeffizienten, der MCA_2 und mit einer Zunahme des nasalen Widerstandes ein. Unsere eingangs formulierte Hypothese, dass eine moderate Reduktion der Körperkerntemperatur zu einer Nasenschleimhautschwellung führt, musste verworfen werden, so dass wir die Nullhypothese annahmen. Die Ergebnisse der Akustischen Rhinometrie und Rhinoresistometrie wiesen keine statistisch signifikante Nasen-

schleimhautschwellung unter einer ohne körperliche Aktivität ablaufenden moderaten Kaltwasserexposition nach. Trotz einer signifikanten Reduktion der Körperkerntemperatur kam es innerhalb des Probandenkollektivs zu uneinheitlichen und nicht statistisch signifikanten Nasenschleimhautreaktionen. Hiermit decken sich unsere Ergebnisse mit der Studie von Yamagiwa et al. (1990). Die mit unserer Studie übereinstimmenden Untersuchungsergebnisse sind jedoch aufgrund unterschiedlicher Kälteapplikation kritisch zu betrachten. In Übereinstimmung mit unserer Studie verwendete Yamagiwa et al. (1990) die Akustische Rhinometrie als Untersuchungsverfahren. Die Kälteapplikation erfolgte hingegen nur lokal an den Extremitäten, so dass im Gegensatz zu unserer Studie keine Körperkernabkühlung vorlag.

Unsere Ergebnisse stimmen insgesamt mit einem Großteil weiterer wissenschaftlicher Arbeiten zu diesem Thema nicht überein: In der Literatur lassen sich vornehmlich Studien finden, die eine kälteinduzierte Nasenschleimhautschwellung nachwiesen (Cruz & Togias, 2008; Liener, Leiacker, Lindemann, Rettinger & Keck, 2003; Lundqvist et al., 1993; Olsson & Bende, 1985; Wilde, 1999). Vermutlich ist von mehreren Erklärungsansätzen auszugehen, wieso sich die vorliegenden Ergebnisse von unserer vorliegenden Studie unterscheiden. Ursächlich für die nicht übereinstimmenden Ergebnisse mit unserer Studie sehen wir in den methodischen Unterschieden hinsichtlich der angewandten Untersuchungsverfahren und der Kälteapplikation. Im Gegensatz zu den Vergleichsstudien führten wir eine Kaltwasserimmersion durch. Während der Exposition atmete der Proband keine kalte Luft ein, da die Versuchsdurchführung unter Raumluftbedingungen stattfand. Somit konnte der Einfluss einer reinen Körperkerntemperaturerniedrigung auf die Nasenschleimhautmotorik untersucht werden. In den anderen Studien hingegen erfolgten Kälteapplikationen durch die Inhalation kalter Luft, durch eine Exposition in kalter Umgebung oder lokale Kälteanwendungen.

4.5.3 Validität der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie

Anhand der Untersuchungsergebnisse der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie ließ sich der dekongestive Effekt des α_2 -sympathomimetischen Nasensprays (Xylomethazolinhydrochlorid) nachweisen. Nach erfolgter Applikation, 20 Minuten postexpositionell, ließ sich anhand beider Untersuchungsverfahren eine statistisch signifikante Nasenschleimhautabschwellung feststellen. Diese Ergebnisse sprechen für die Messgenauigkeit und Validität der verwendeten Untersuchungsverfahren. Hiermit decken sich unsere Ergebnisse mit denen der Studie von Bickford, Shakib und Taverner (1999).

4.5.4 Korrelation der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie mit der rektalen Temperatur

Interessanterweise wiesen einige Parameter der Rhinoresistometrie auf eine Nasenschleimhautabschwellung bei zunehmender Reduktion der Körperkerntemperatur hin. Unter vermehrter Abkühlung ließen sich zum einen eine signifikante Zunahme des nasalen Durchmessers und zum anderen eine signifikante Reduktion des nasalen Widerstandes beobachten. In der Akustischen Rhinometrie stellte sich hingegen nur eine tendenziell negative Korrelation als Zeichen einer Nasenschleimhautabschwellung zwischen einer erniedrigten rektalen Körpertemperatur und einer Vergrößerung der MCA_2 dar. Wir vermuten, dass die verfehlte Signifikanz durch die Grenzen der Akustischen Rhinometrie beeinflusst wurde. Wie von den Wissenschaftlern Grützenmacher et al. (2003) formuliert, ist die Akustische Rhinometrie als alleiniges Messverfahren nicht ausreichend genau, um den Schwellungszustand in der Nase sicher beurteilen zu können, da sie die Nasenweite nur an einem Ort der Nase misst. Die Ursache für die signifikanten Ergebnisse einzelner Parameter der Rhinoresistometrie sehen wir in der größeren Messgenauigkeit dieses Verfahrens. Wir vermuten, dass es in unserer Studie mit zunehmender Abkühlung zu einer kälteinduzierten Ausschüttung von Katecholaminen aus dem sympathischen Nervensystems kam, so dass sich in einigen Parametern der RRM eine Volumenabnahme des Schwellgewebes und eine Reduktion des Atemwiderstandes zeigten. Ähnliche Ergebnisse finden sich in aktuellen Studien, die über eine Noradrenalinausschüttung unter Kälteexposition berichten (Celi et al., 2010; Frank et al. 1997; Leppäluoto et al., 1988, Šrámek et al., 2000; Wilkerson et al., 1974).

4.5.5 Limitation der Untersuchungen

Aufgrund der Tatsache, dass unsere Studie nicht zur Auskühlung der Probanden führen sollte, konnte in beiden Gruppen der Studienteilnehmer nach eigenem Ermessen beim Erreichen seiner persönlichen Toleranzgrenze die Kaltwasserexposition abbrechen. Das Studiendesign sah bewusst einen durch die Probanden individuell gewählten Endpunkt der Exposition vor. Dadurch kam es zu einer uneinheitlichen Expositionsdauer. Wir haben aber diesen Versuchsablauf bewusst aus ethischen Aspekten gewählt, um auf das individuelle Kälteempfinden Rücksicht zu nehmen. An dieser Untersuchung haben nur männliche und junge Probanden teilgenommen. Deshalb kann im Hinblick auf die Alters- und Geschlechtsverteilung keine allgemeingültige Aussage für beide Geschlechter und für ein breites Altersspektrum getroffen werden. Insbesondere können keine Aussagen über entsprechende Reaktionen älterer Menschen gemacht werden. Vor diesem Hintergrund wäre es sinnvoll, das Patientenkollektiv in weiteren Studien dahingehend zu erweitern. In der Gruppe 1 kam es während der Scheinexposition innerhalb des Kontrollversuchs zu einer signifikanten Reduktion der Körperkerntemperatur. Wir sehen rückwirkend den nicht über 23 °C erwärmbaren Ruheraum, in dem sich die Probanden aufhielten, als nicht ausreichend temperiert an. Im Hinblick auf weitere Studien sollte eine Behaglichkeitstemperatur zwischen 25–26 °C erreicht werden, die dem oberen Bereich der thermischen Neutralzone entspricht (Persson, 2011). Des Weiteren hätte bei den Probanden in der Gruppe 1 auf eine einheitliche präexpositionelle Nahrungsaufnahme innerhalb des Verum- und Kontrollversuchs geachtet werden müssen.

In der Gruppe 2 hätten die Messungen der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie, um zeitlich wechselnde Schwellungszustände der Nase zu erfassen und um differenziertere Messergebnisse zu erreichen, häufiger durchgeführt werden müssen. Um den Zeitpunkt des „After Drop“ 30 Minuten nach der Kaltwasserexposition zu erfassen, wäre es von Vorteil gewesen, eine erneute Messung der Rhinoresistometrie und der Akustischen Rhinometrie ohne die vorherige Applikation von Nasenspray durchzuführen, was im aktuellen Studiendesign allerdings nicht vorgesehen war. Dieses sollte bei weiteren Arbeiten berücksichtigt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Neben dem Berufstauchen entwickelt sich das Sport- und Freizeittauchen zunehmend zu einem Breitensport. Häufig lassen sich in den Unfallstatistiken nur schätzungsweise Angaben über die Frequenz von Tauchunfällen finden. Zusätzlich ist die aktuell vorliegende Datenlage über den Einfluss externer Einflüsse, wie die Kaltwasserexposition beim Tauchen, auf die Entwicklung von Tauchunfällen unklar.

Das Ziel unserer Studie war es zu klären, inwiefern eine moderate Abnahme der Körperkerntemperatur durch eine wie in Nordeuropa übliche Kaltwasserexposition möglicherweise einen Einfluss auf die Tauchsicherheit hat.

In diesem Zusammenhang war für uns von Interesse, ob eine moderate bis zur subjektiven Akzeptanzgrenze andauernde Kaltwasserexposition den Energieumsatz signifikant erhöht und ob eine hiermit einhergehende gesteigerte Ventilation möglicherweise die Tauchsicherheit bei dem begrenzten Luftvorrat des Tauchers relevant beeinflussen kann. Mit Blick auf mögliche Barotraumata galt es in der Studie ebenfalls zu klären, wie die Nasenschleimhautmotorik während einer moderaten Kaltwasserexposition reagiert und ob zum Beispiel eine eintretende Nasenschleimhautschwellung den notwendigen Druckausgleich im Ohr und in den Nasennebenhöhlen negativ beeinflussen kann.

Hierfür nahmen im Jahr 2004 junge, männliche Soldaten im Schiffahrtmedizinischen Institut der Marine in Kiel an unserer Studie teil. Der Studienablauf beinhaltete eine 18 °C kühle, bis zur subjektiven Akzeptanzgrenze dauernde Kaltwasserexposition ohne erhöhte körperliche Aktivität und eine darauffolgende aktive Wiedererwärmungsphase. Zum einen wurde bei 19 Probanden der Energieumsatz über die Sauerstoffaufnahme anhand spirometrischer Messungen erfasst. Zum anderen wurde bei 28 Probanden die Nasenschleimhautreaktion unter der moderaten Kaltwasserexposition und in der darauffolgenden aktiven Wiedererwärmungsphase mittels der Akustischen Rhinometrie und Rhinoresistometrie gemessen.

Die bis zur Akzeptanzgrenze andauernde moderate Kaltwasserexposition führte bei den Probanden zu einer signifikanten Abnahme der Rektaltemperatur, aber

nur zu einem geringgradigen spirometrisch errechneten Kalorienmehrverbrauch. Dies stimmte nicht mit der postexpositionellen deutlich erhöhten subjektiven Hungereinschätzung am Ende der Versuchsdurchführung überein, was aus unserer Sicht eine hochkalorische Zusatznahrung zunächst entbehrlich erscheinen lässt. Es sollte aber beachtet werden, dass diese Studie in körperlicher Ruhe durchgeführt wurde. Als Ursache für das vermehrte Hungerempfinden vermuten wir, wie in der Literatur beschrieben, eine reduzierte Leptinausschüttung aufgrund der Kaltwasserimmersion.

Wir beobachteten in unserer Studie trotz der moderaten und kurzen Kaltwasserexposition dennoch eine kälteinduzierte Aktivierung des Fettstoffwechsels mit einer Lipolyse und der Freisetzung freier Fettsäuren. In Übereinstimmung mit der Literatur vermuten wir als Ursache für die eingetretene Lipolyse eine Sympathikus-induzierte Katecholaminfreisetzung. Relevante Auswirkungen auf den Kohlenhydratstoffwechsel hingegen fanden sich nicht, ebenso wenig ein Einfluss der moderaten Kaltwasserexposition auf den Hormonstoffwechsel der Schilddrüse und der Nebennierenrinde, da sich kein signifikanter Anstieg der Schilddrüsenhormone oder des Cortisols nachweisen ließ. Ebenfalls entsprechend der Literatur vermuten wir, dass nur bei prolongierten und stärkeren Kältereizen eine Aktivierung des Hormonstoffwechsels eintritt.

Auch konnte in unserer Studie keine signifikante, rein kälteinduzierte Ventilationssteigerung nachgewiesen werden. Damit scheint bei Tauchgängen mit einer moderaten und kurzen Kälteapplikation kein wesentlich erhöhter Pressluftbedarf rein aus dem Temperaturverlust zu entstehen, der einen Einfluss auf die Tauchsicherheit haben könnte, wobei andere tauchbedingte Stresseffekte bei diesem Studiendesign nicht betrachtet werden konnten.

Mit Blick auf die Beeinflussung der Nasenschleimhautmotorik durch Abkühlung in Kaltwasser deuten die Ergebnisse der Rhinoresistometrie und Akustischen Rhinometrie auf eine Nasenschleimhautabschwellung unter zunehmender Reduktion der Körperkerntemperatur hin. Die Ursache hierfür könnte in einer kälteinduzierten Sympathikusaktivierung und Katecholaminfreisetzung liegen. Wegen der aber insgesamt noch unklaren Datenlage sehen wir den Mechanismus der nasalen Schleimhautreaktion unter Kälte weiterhin als nicht hinreichend und eindeutig ge-

klärt an. Auf Grund der Ergebnisse unserer Studie haben wir somit aktuell keinen Hinweis darauf, dass Taucher einem vermehrten Risiko unterliegen, bei moderater Abnahme der Körpertemperatur Probleme bei der Ausführung des Druckausgleichs oder mit der Belüftung der Nasennebenhöhlen zu entwickeln, da die Tendenz der Daten eher in Richtung einer Anschwellung der Nasenschleimhaut bei Abkühlung des Körpers zu gehen scheint.

Eingrenzend muss jedoch hervorgehoben werden, dass die vorliegende Studie in einem Kaltwasserbad ohne Kopfbeteiligung durchgeführt wurde, somit also Aspekte der körperlichen Belastung sowie der Immersion des Gesichtsbereiches wie beim realen Tauchen in diesem Ansatz somit nicht betrachtet werden konnten. Dies sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

6 Literaturverzeichnis

1. Andersson, K. E., & Bende, M. (1984). Adrenoceptors in the control of human nasal mucosal blood flow. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 93(2), 179-182.
2. Åkerlund, A., & Bende, M. (1989). Nasal mucosal temperature and the effect of acute infective rhinitis. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, 14(6), 529-534.
3. Bachmann, W., & Nieder, T. (1978). Der klinische Wert der Rhinomanometrie. *Laryng Rhinol*, 57, 379-383.
4. Bickford, L., Shakib, S., & Taverner, D. (1999). The nasal airways response in normal subjects to oxymetazoline spray: randomized double-blind placebo-controlled trial. *British journal of clinical pharmacology*, 48(1), 53-56.
5. Boenninghaus, H.-G., & Lenarz, T. (2007a). Anatomie und Physiologie. *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde* (S. 123-131, 13. Auflage). Berlin: Springer.
6. Boenninghaus, H.-G., & Lenarz, T. (2007b). Untersuchungsmethoden. *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde* (S. 134-144, 13. Auflage). Berlin: Springer.
7. Boutellier, U. (2011). Sport- und Arbeitsphysiologie. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie* (S. 855-876, 31. Auflage). Stuttgart: Springer.
8. Cannon, P., & Keatinge, W. R. (1960). The metabolic rate and heat loss of fat and thin men in heat balance in cold and warm water. *The Journal of physiology*, 154(2), 329-344.
9. Celi, F. S., Brychta, R. J., Linderman, J. D., Butler, P. W., Alberobello, A. T., Smith, S., ... & Chen, K. Y. (2010). Minimal changes in environmental temperature result in a significant increase in energy expenditure and changes in the hormonal homeostasis in healthy adults. *European Journal of Endocrinology*, 163(6), 863-872.
10. Chen, K. Y., Brychta, R. J., Linderman, J. D., Smith, S., Courville, A., Dieckmann, W., ... & Celi, F. S. (2013). Brown fat activation mediates cold-

induced thermogenesis in adult humans in response to a mild decrease in ambient temperature. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 98(7), E1218-E1223.

11. Christophersen, K., Beule, A., Enssen, C., Mlynski, B., & Mlynski, G (2004). Normalwerte für die Rhinoresistometrie und akustische Rhinometrie. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 83(02), 22-8.
12. Cruz, A. A., & Togias, A. (2008). Upper airways reactions to cold air. *Current allergy and asthma reports*, 8(2), 111-117.
13. Dörhöfer, R.-P. & Pirlich, M. (2007). *Das Bia – Kompendium (3. Ausgabe)*. Darmstadt: Data – Input GmbH.
14. Doi, K., Ohno, T., Kurahashi, M., & Kuroshima, A. (1979). Thermoregulatory nonshivering thermogenesis in men, with special reference to lipid metabolism. *The Japanese Journal of Physiology*, 29(4), 359-372.
15. Frank, S. M., Raja, S. N., Bulcao, C. F., & Goldstein, D. S. (1999). Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans. *Journal of Applied physiology*, 86(5), 1588-1593.
16. Frank, S. M., Higgins, M. S., Fleisher, L. A., Sitzmann, J. V., Raff, H., & Breslow, M. J. (1997). Adrenergic, respiratory, and cardiovascular effects of core cooling in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 272(2), R557-R562.
17. Fonseca, M. T., Voegels, R. L., & Pinto, K. (2006). Evaluation of nasal volume by acoustic rhinometry before and after physical exercise. *American journal of rhinology*, 20(3), 269-273.
18. Gilbert, A. N., & Rosenwasser, A. M. (1987). Biological rhythmicity of nasal airway patency: a re-examination of the 'nasal cycle'. *Acta otolaryngologica*, 104(1-2), 180-186.
19. Glickman-Weiss, E. L., Goss, F. L., Robertson, R. J., Metz, K. F., & Cassinelli, D. A. (1991). Physiological and thermal responses of males with vary-

- ing body compositions during immersion in moderately cold water. *Aviation, space, and environmental medicine*, 62(11), 1063-1067.
20. Grützenmacher, S., Lang, C., & Mlynski, G. (2003). The combination of acoustic rhinometry, rhinoresistometry and flow simulation in noses before and after turbinate surgery: a model study. *ORL*, 65(6), 341-347.
 21. Halse, R. E., Wallman, K. E., & Guelfi, K. J. (2011). Postexercise water immersion increases short-term food intake in trained men. *Med Sci Sports Exerc*, 43(4), 632-638.
 22. Haman, F., Péronnet, F., Kenny, G. P., Massicotte, D., Lavoie, C., Scott, C., & Weber, J. M. (2002). Effect of cold exposure on fuel utilization in humans: plasma glucose, muscle glycogen, and lipids. *Journal of Applied Physiology*, 93(1), 77-84.
 23. Hayward, J. S., Eckerson, J. D., & Kemna, D. (1984). Thermal and cardiovascular changes during three methods of resuscitation from mild hypothermia. *Resuscitation*, 11(1), 21-33.
 24. Hayward, M. G., & Keatinge, W. R. (1981). Roles of subcutaneous fat and thermoregulatory reflexes in determining ability to stabilize body temperature in water. *The Journal of physiology*, 320(1), 229-251.
 25. Hensel, H. (1973). Temperaturregulation. In W. D. Keidl (Hrsg.), *Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie* (S. 224-235, 3. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
 26. Hilberg, O., Jackson, A. C., Swift, D. L., & Pedersen, O. F. (1989). Acoustic rhinometry: evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflection. *Journal of Applied Physiology*, 66(1), 295-303.
 27. Hilberg, O. (2002). Objective measurement of nasal airway dimensions using acoustic rhinometry: methodological and clinical aspects. *Allergy*, 57(s70), 5-39.
 28. Jänig, W. (2011). Vegetatives Nervensystem. In R. F. Schmidt, F. Lang, & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie* (S. 404-434, 31. Auflage). Stuttgart: Springer.

29. Johnson, D. G., Hayward, J. S., Jacobs, T. P., Collis, M. L., Eckerson, J. D., & Williams, R. H. (1977). Plasma norepinephrine responses of man in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 43(2), 216-220.
30. Keatinge, W. R. (1960). The effects of subcutaneous fat and of previous exposure to cold on the body temperature, peripheral blood flow and metabolic rate of men in cold water. *The Journal of physiology*, 153(1), 166-178.
31. Keatinge, W. R. (1972). Cold immersion and swimming. *Journal of the Royal Naval Medical Service*, 58, 171-176.
32. Keck, T. (2003). Untersuchungen zur Konditionierung der Atemluft in der Nase. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 82(04), 289-290.
33. Keck, T., & Lindemann, J. (2010). Strömungssimulation und Klimatisierung in der Nase. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 89(S 01), 1-14.
34. Klingmann, C. (2007). Hals-Nasen-Ohrenärztliche Erkrankungen. Nase und Nasennebenhöhlen. In C. Klingmann & K. Tetzlaff (Hrsg.), *Moderne Tauchmedizin* (S. 498–511, 1. Auflage). Stuttgart: Gentner.
35. Klingmann, C. (2012a). Hals-Nasen-Ohrenärztliche Erkrankungen. In C. Klingmann & K. Tetzlaff (Hrsg.), *Moderne Tauchmedizin* (S. 199-229, 2. vollständig überarbeitete Auflage). Stuttgart: Gentner.
36. Klingmann, C. (2012b). Tauchtauglichkeit auf dem Hals-Nasen-Ohren-Gebiet. Nase- und Nasennebenhöhlen. In C. Klingmann & K. Tetzlaff (Hrsg.), *Moderne Tauchmedizin* (S. 537-550, 2. vollständig überarbeitete Auflage). Stuttgart: Gentner.
37. Klingmann, C., Praetorius, M., Baumann, I., & Plinkert, P. K. (2007). Otorhinolaryngologic disorders and diving accidents: an analysis of 306 divers. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 264(10), 1243-1251.
38. Koch, U., & Pau, H.-W. (1994). Tubenfunktionsstörungen. *Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis* (S. 564-578, Band 1 „Ohr“). Stuttgart: Thieme.

39. Knipping, S., Riederer, A., & Berghaus, A. (2004). Nervale Regulation der respiratorischen Nasenschleimhaut. *HNO*, 52(5), 471-490.
40. Lang, C., Grützenmacher, S., Mlynski, B., Plontke, S., & Mlynski, G. (2003). Investigating the nasal cycle using endoscopy, rhinoresistometry, and acoustic rhinometry. *The Laryngoscope*, 113(2), 284-289.
41. Lang, F. (2011). Hormone. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie* (S. 436-461, 31. Auflage). Stuttgart: Springer.
42. Leppäluoto, J., Korhonen, I., Huttunen, P., & Hassi, J. (1988). Serum levels of thyroid and adrenal hormones, testosterone, TSH, LH, GH and prolactin in men after a 2-h stay in a cold room. *Acta physiologica scandinavica*, 132(4), 543-548.
43. Liener, K., Leiacker, R., Lindemann, J., Rettinger, G., & Keck, T. (2003). Nasal mucosal temperature after exposure to cold, dry air and hot, humid air. *Acta oto-laryngologica*, 123(7), 851-856.
44. Liedtke, H. (2012). Temperaturhaushalt. In C. Klingmann & K. Tetzlaff (Hrsg.), *Moderne Tauchmedizin* (S. 53-64, 2. vollständig überarbeitete Auflage). Stuttgart: Gentner.
45. Lundqvist, G. R., Pedersen, O. F., Hilberg, O., & Nielsen, B. (1993). Nasal reaction to changes in whole body temperature. *Acta oto-laryngologica*, 113(6), 783-788.
46. McArdle, W. D., Magel, J. R., Gergley, T. J., Spina, R. J., & Toner, M. M. (1984). Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women. *Journal of Applied Physiology*, 56(6), 1565-1571.
47. Marino, F., & Booth, J. (1998). Whole body cooling by immersion in water at moderate temperatures. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1(2), 73-81.

48. Martineau, L., & Jacobs, I. (1988). Muscle glycogen utilization during shivering thermogenesis in humans. *Journal of Applied Physiology*, 65(5), 2046-2050.
49. Mekjavic, I. B., Mittleman, K. D., & Kakitsuba, N. (1987). The role of shivering thermogenesis and total body insulation in core cooling rate. *The Annals of physiological anthropology*, 6(2), 61-68.
50. Mlynski, G. (2003). Physiologie und Pathophysiologie der Nasenatmung. In H. Behrbohm & M. E. Tardy (Hrsg.), *Funktionell-ästhetische Chirurgie der Nase. Essentials of Septorhinoplastik* (S. 74-84, 1. Auflage). Stuttgart: Thieme.
51. Mlynski, G., & Löw, J. (1993). Die Rhinoresistometrie – eine Weiterentwicklung der Rhinomanometrie. *Laryngo-, Rhino-, Otologie*, 72(12), 608-610.
52. Olsson, P., & Bende, M. (1985). Influence of environmental temperature on human nasal mucosa. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 94(2 Pt 1), 153-155.
53. Persson, P. B. (2011). Energie- und Wärmehaushalt, Thermoregulation. In R. F. Schmidt, F. Lang & Heckmann, M. (Hrsg.), *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie* (S. 835-853, 31. Auflage). Stuttgart: Springer.
54. Reimers, C., Mersch, S., & Müller-Nothmann, S.-D. (2005). Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA). Methoden zur Messung der Körperkompartimente in der Ernährungsmedizin. *Schweizerische Zeitschrift für Ganzheitsmedizin/Swiss Journal of Integrative Medicine*, 17(6), 355-361.
55. Rettinger, G. (1996). Physiologie. In A. Berghaus, G. Rettinger & G. Böhne (Hrsg.), *Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. Duale Reihe* (S. 240-244). Stuttgart: Hippokrates.
56. Romet, T. T. (1988). Mechanism of afterdrop after cold water immersion. *Journal of Applied Physiology*, 65(4), 1535-1538.

57. Scholz, S. G. (2012). Physikalische Grundlagen. In C. Klingmann & K. Tetzlaff (Hrsg.), *Moderne Tauchmedizin* (S. 37-44, 2. vollständig überarbeitete Auflage). Stuttgart: Gentner.
58. Semerak, A. (1958). Objektive Beurteilung der Nasendurchgängigkeit. *Z. f. HNO-Heilkunde*, *37*, 248-261.
59. Smith, D. J., Deuster, P. A., Ryan, C. J., & Doubt, T. J. (1990). Prolonged whole body immersion in cold water: hormonal and metabolic changes. *Undersea Biomed Res*, *17*(2), 139-147.
60. Šrámek, P., Šimečková, M., Janský, L., Šavlíková, J., & Vybiral, S. (2000). Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European journal of applied physiology*, *81*(5), 436-442.
61. Stocks, J. M., Taylor, N. A., Tipton, M. J., & Greenleaf, J. E. (2004). Human physiological responses to cold exposure. *Aviation, space, and environmental medicine*, *75*(5), 444-457.
62. Temmel, A. F., Toth, J., Marks, B., Jäger, S., Berger, U., Reiser, K., & Horak, F. (1998). Rhinoresistometry versus rhinomanometry – an evaluation. *Wiener klinische Wochenschrift*, *110*(17), 612-615.
63. Tetzlaff, K. (2012). Tauchunfallstatistiken. In C. Klingmann & K. Tetzlaff (Hrsg.), *Moderne Tauchmedizin* (S. 394-402, 2. vollständig überarbeitete Auflage). Stuttgart: Gentner.
64. Tikuisis, P., Jacobs, I., Moroz, D., Vallerand, A. L., & Martineau, L. (2000). Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water. *Journal of Applied Physiology*, *89*(4), 1403-1411.
65. Tomasits, J., & Haber, P. (2011). Ernährung. *Leistungsphysiologie: Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur* (S. 221-239, 4. Auflage). Wien: Springer.
66. Vallerand, A. L., & Jacobs, I. (1990). Influence of cold exposure on plasma triglyceride clearance in humans. *Metabolism*, *39*(11), 1211-1218.

67. Van Marken Lichtenbelt, W. D., & Daanen, H. A. (2003). Cold-induced metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 6(4), 469-475.
68. Van Marken Lichtenbelt, W. D., Vanhommerig, J. W., Smulders, N. M., Drossaerts, J. M., Kemerink, G. J., Bouvy, N. D., ... & Teule, G. J. (2009). Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *New England Journal of Medicine*, 360(15), 1500-1508.
69. Van Someren, E. J., Raymann, R. J., Scherder, E. J., Daanen, H. A., & Swaab, D. F. (2002). Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing research reviews*, 1(4), 721-778.
70. Virtanen, K. A., Lidell, M. E., Orava, J., Heglind, M., Westergren, R., Niemi, T., ... & Nuutila, P. (2009). Functional brown adipose tissue in healthy adults. *New England Journal of Medicine*, 360(15), 1518-1525.
71. Weber, J. M., & Haman, F. (2005). Fuel selection in shivering humans. *Acta physiologica scandinavica*, 184(4), 319-329.
72. Wilkerson, J. E., Raven, P. B., Bolduan, N. W., & Horvath, S. M. (1974). Adaptations in man's adrenal function in response to acute cold stress. *Journal of applied physiology*, 36(2), 183-189.
73. Wilson, A. M., Fowler, S. J., Martin, S. W., White, P. S., Gardiner, Q., & Lipworth, B. J. (2001). Evaluation of the importance of head and probe stabilisation in acoustic rhinometry. *Rhinology*, 39(2), 93-97.
74. White, L. J., Dressendorfer, R. H., Holland, E., McCoy, S. C., & Ferguson, M. A. (2005). Increased caloric intake soon after exercise in cold water. *International Journal of Sport Nutrition and exercise Metabolism*, 15, 38-47.
75. Wilde, A. D. (1999). The effect of cold water immersion on the nasal mucosa. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, 24(5), 411-413.

76. Wijers, S. L. J., Saris, W. H. M., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2010). Cold-induced adaptive thermogenesis in lean and obese. *Obesity*, *18*(6), 1092-1099.
77. Yamagiwa, M., Hilberg, O., Pedersen, O. F., & Lundqvist, G. R. (1990). Evaluation of the effect of localized skin cooling on nasal airway volume by acoustic rhinometry. *Am Rev Respir Dis*, *141*(4 Pt 1), 1050-1054.
78. Zeyl, A., Stocks, J. M., Taylor, N. A., & Jenkins, A. B. (2004). Interactions between temperature and human leptin physiology in vivo and in vitro. *European journal of applied physiology*, *92*(4), 571-578.

Anhang

Anhang A: Studienmaterialien

Anhang A1: Studieninformation

Anhang A2: Schriftliche Einwilligung der Probanden an der Studie.

Anhang A3: Ärztliche Befragung und körperliche Untersuchung

Anhang A4: Befindlichkeitsskala

Anhang B: Stichprobendaten

Tabelle B1: Anthropometrische Daten der Probanden in Gruppe 1

Tabelle B2: Anthropometrische Daten der Probanden in Gruppe 2

Tabelle B3: Messgrößen der Bioelektrischen Impedanzanalyse

Anhang A: Studienmaterialien

Anhang A1: Studieninformation

Studieninformation

„Tauchen im kühlen Wasser – Leistungsdiagnostik mit Spirometrie, Problematik behinderter Nasenatmung durch Abkühlung – Rhinoresistometrie“

Probandeninformation

Sehr geehrte Teilnehmer!

Vielen Dank für Ihre Bereitschaft, dass Sie an der oben genannten Studie teilnehmen.

Wir möchte Ihnen nachfolgend den Versuchsablauf für die Gruppe „**Spirometrie**“ als auch für die Gruppe „**Rhinoresistometrie**“ vorstellen.

Für die Exposition im kühlen Wasser bitten wir Sie, Ihre Badehose mitzubringen.

Spirometriegruppe:

1) Im Institut für Ernährungswissenschaften in Kiel erfolgt nach dem Mittagessen eine 1-stündige Messung der Sauerstoffaufnahme mit Hilfe einer Haube. Anhand des Sauerstoffverbrauchs lässt sich unter Ruhebedingungen Ihr Ruheenergieumsatz erfassen.

Versuchsdurchführung:

2) In der Bäderabteilung des Schiffahrtmedizinischem Institut in Kiel werden Sie sich mit einer Badehose bekleidet in 18 °C kühlem Wasser geringgradig bewegen. Mit Hilfe einer Spirometriemaske wird über den Sauerstoffverbrauch Ihr Energieumsatz unter Abkühlungsbedingungen gemessen. Die Versuchsdauer ist variabel und hängt von Ihrem Kälteempfinden ab. Nach Ende der Kälteexposition werden Sie nach Ihrer subjektiven Kälteeinschätzung befragt. Nach der Expositi-

on im kühlen Wasser legen Sie die Badehose ab. Nach dem Abtrocknen begeben Sie sich mit einem Bademantel bekleidet in einen 23 °C warmen Ruheraum. Während des 2-stündigen Aufenthaltes sind Sie mit einem Laken bedeckt und ruhen. Nach Ablauf dieser Zeit werden Sie nach Ihrem subjektiven Hungergefühl befragt. Wie im Rahmen von Leistungssportuntersuchungen üblich, werden kontinuierlich EKG-, Pulsfrequenz- und Temperaturkontrollen (rektale Temperatur) durchgeführt. Urin und Blut wird vor/während und nach der Aufwärmphase entnommen.

3) Nach wenigen Tagen wird im Schiffahrtmedizinischen Institut der identische Versuchsablauf ohne Exposition im kühlen Wasser durchgeführt.

Wir wollen im Rahmen dieses Studienteils den kalorischen Energieumsatz von Tauchern während und nach der Kälteexposition messen. Zusätzlich soll die Frage geklärt werden, ob bei einem erhöhten Energieverbrauch die Notwendigkeit einer gesteigerten Nahrungszufuhr bei Tauchern besteht.

Rhinoresistometriegruppe:

Anhand des von Ihnen ausgefüllten Fragebogens wollen wir bei Ihnen Vorerkrankungen im Hals-Nasen-Ohrenbereich ausschließen, da diese die Versuchsergebnisse verfremden könnten.

Sind Vorerkrankungen bei Ihnen ausgeschlossen, erfolgt vor der Versuchsdurchführung eine Hals-Nasen-Ohrenärztliche Untersuchung im Schiffahrtmedizinischen Institut in Kiel (Ultraschalluntersuchung der Nasennebenhöhlen und endoskopische Untersuchung der mittleren Nasengänge). Da bei dieser Untersuchung abschwellendes Nasenspray verwendet wird, erfolgt die eigentliche Versuchsdurchführung nach einem Intervall von 1–2 Tagen.

Um die Messergebnisse des Versuches nicht zu beeinflussen, bitten wir Sie, 24 Stunden vorher kein Nasenspray zu benutzen, am Versuchstag nicht zu rauchen, Kaffee zu trinken oder Kaugummi zu kauen.

Versuchsdurchführung:

1) Nach einer 30-minütigen Akklimatisierung in der Bäderabteilung des Schiff-fahrtmedizinischen Institut in Kiel bewegen Sie sich mit einer Badehose beklei-det in 18 °C kühlem Wasser. Die Dauer ist variabel und richtet sich nach Ihrer Selbsteinschätzung hinsichtlich Ihres Kälteempfindens.

2) Nach der Exposition im kühlen Wasser legen Sie die Badehose ab. Nach dem Abtrocknen begeben Sie sich mit einem Bademantel bekleidet in einen 23 °C warmen Ruheraum. Während des 30-minütigen Aufenthaltes sind Sie mit einem Laken bedeckt und ruhen. Vor/während und am Ende der Ruhephase werden bei Ihnen Druckmessungen in der Nase und Temperaturmessungen (rektal) durch-geführt. 20 Minuten nach der Kälteexposition wird Ihnen ein abschwellendes Na-senspray verabreicht.

Wir wollen im Rahmen dieses Studienteils klären, ob durch Exposition in 18 °C kühlem Wasser mit Erniedrigung der Körpertemperatur eine Nasen-schleimhautschwellung eintritt, die ggf. zu Problemen beim Druckausgleich von Tauchern führen kann.

Anhang A2: Einverständniserklärung

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie:

Ich bin ausreichend mündlich und schriftlich über die Studie, an der ich teilnehme, informiert worden. Ich habe die Probandeninformation gelesen und verstanden. Meine Fragen zu der Studie sind zu meiner Zufriedenheit beantwortet worden. Ich weiß, dass ich freiwillig an der Studie teilnehme und dass ich jederzeit davon zurücktreten kann, ohne dass mir daraus für meine weitere Behandlung Nachteile entstehen. Ich bin damit einverstanden, dass meine unter einer Kennziffer anonym geführten Daten zur wissenschaftlichen Auswertung weitergeleitet werden. Mit einer eventuellen Veröffentlichung der Ergebnisse bin ich ebenfalls einverstanden. Hiermit stimme ich einer Teilnahme an der genannten Studie zu. Eine Kopie der Einverständniserklärung habe ich erhalten.

Unterschrift des Probanden:

Datum:

Unterschrift des Projektleiters:

Datum:

Anhang A3: Ärztliche Befragung und körperliche Untersuchung

Name:

Vorname:

PK:

Nach Befragung und ärztlicher Untersuchung besteht aktuell keine körperliche Einschränkung zur Durchführung der heutigen Testung.

Stabsarzt Schmidt

Datum:

Anhang A4: Befindlichkeitsskala

Befindlichkeitsskala:

Datum:

Name:

Vorname:

PK:

Wir möchten mit der folgenden Skala das Ausmaß Ihres aktuellen Kälte- und Hungergefühls festhalten. Geben Sie bitte bei jedem Wort Ihr augenblickliches Kälte- und Hungergefühl an.

Uhrzeit:

Im Moment fühle ich mich

	überhaupt									
	nicht									extrem
kalt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<input type="radio"/>									

Uhrzeit:

Im Moment fühle ich mich

	überhaupt									
	nicht									extrem
hungrig	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<input type="radio"/>									

Anhang B: Stichprobendaten

Tabelle B1. Anthropometrische Daten der Probanden in Gruppe 1

Proband	Alter (Jahre)	Körpergröße (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m²)
1	20	186	83.0	24.0
2	22	173	80.0	26.7
3	21	177	77.3	24.7
4	22	174	64.5	21.3
5	19	190	93.0	25.8
6	22	169	72.0	25.2
7	19	176	83.0	26.8
8	23	183	77.5	23.1
9	19	164	46.0	17.1
10	26	181	70.0	21.4
11	20	176	75.0	24.2
12	20	186	86.0	24.9
13	19	193	82.5	22.1
14	25	179	74.5	23.3
15	21	170	60.0	20.8
16	21	191	77.0	21.1
17	30	180	88.5	27.3
18	29	181	88.0	26.9
19	18	176	58.0	18.7

Tabelle B2. Anthropometrische Daten der Probanden in Gruppe 2

Probanden	Alter (Jahre)	Körpergröße (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m²)
1	30	180	88.5	27.3
2	22	172	82.0	26.7
3	21	176	76.0	24.7
4	22	177	68.0	21.3
5	21	170	59.5	19.0
6	22	175	70.0	25.2
7	20	177	68.5	22.4
8	18	186	70.0	22.3
9	26	180	112.0	32.4
10	29	186	85.0	26.9
11	20	188	83.0	24.0
12	20	174	85.0	24.9
13	21	179	73.5	24.3
14	25	176	76.0	23.3
15	20	181	75.0	24.2
16	18	185	109.5	33.4
17	23	177	74.0	23.1
18	26	175	78.0	24.9
19	21	165	75.5	24.7
20	19	181	52.0	17.1
21	30	180	66.0	20.1
22	26	194	78.5	24.2
23	23	170	94.0	25.2
24	19	181	75.0	26.0
25	26	167	72.0	21.4
26	24	193	85.0	30.5
27	19	170	82.5	22.1
28	21	170	60.0	20.8

Tabelle B3. Bioelektrische Impedanzanalyse: Phase 50 = Bei 50 khz Phasenwinkel in °

Probanden	LBM (kg)	TBW (L)	ECM (kg)	BCM (kg)	ECM/BCM	Phasenwinkel (°)	GU
1	71.8	52.6	30.9	40.9	0.75	7.1	1910
2	58.0	42.5	24.3	33.6	0.72	7.4	1680
3	64.4	47.1	28.2	36.2	0.78	6.9	1760
4	58.1	42.5	23.3	34.8	0.67	7.9	1720
5	78.8	57.7	34.0	44.8	0.76	7.1	2030
6	55.6	40.7	24.3	31.3	0.78	7.0	1600
7	66.6	48.7	27.0	39.6	0.68	7.8	1870
8	64.9	47.5	29.1	35.8	0.81	6.7	1750
9	43.7	32.0	13.6	30.2	0.45	10.8	1570
10	59.4	43.5	25.8	33.6	0.77	7.0	1680
11	63.1	46.2	25.3	37.8	0.67	7.9	1810
12	65.6	48.0	29.4	36.1	0.82	6.7	1760
13	67.5	49.4	28.5	39.0	0.73	7.3	1850
14	65.8	48.1	25.6	40.1	0.64	8.2	1880
15	53.0	38.8	21.9	31.1	0.7	7.6	1600
16	66.1	48.4	30.3	35.9	0.84	6.5	1750
17	66.9	49.0	27.8	39.1	0.71	7.5	1850
18	70.0	51.2	28.7	41.3	0.70	7.6	1920
19	53.4	39.1	21.7	31.7	0.69	7.7	1620

Anmerkungen. LBM = Magermasse, TBW = Körperwasser, ECM = Extrazelluläre Masse, BCM = Körperzellmasse, GU = Grundumsatz.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die der Universität zu Kiel zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel- Aufenthalt im kühlen Wasser- Einfluss der Körperkernabkühlung auf den Energieumsatz und die Motorik der Nasenschleimhaut selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe diese Dissertation an keiner anderen Hochschule zur Promotion eingereicht.

Zusätzlich erkläre ich, dass ich kein anderes Promotionsverfahren ohne Erfolg beendet habe. Weiterhin versichere ich, dass ich den beantragten Titel weder bisher erworben habe noch wurde mir dieser aberkannt.

Kropp, den

Beata Schmidt

Danksagung

Besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Professor Dr. med. Andreas Koch, für die Überlassung der Themen und der fachlich kompetenten und sehr geduldigen Betreuung während der Anfertigung meiner Dissertation.

Außerdem bedanke ich mich an dieser Stelle bei Herrn Prof. Dr. med. G. Mlynski für die unkonventionelle Überlassung des Rhino-Scan Gerätes, um im Schiff-fahrtmedizinischen Institut in Kiel die Studie durchführen zu können. Frau Dipl.-Ing. B. Mlynski danke ich für die Einweisung in die akustisch-rhinometrischen und rhinoresistometrischen Messungen.

Für die statistische Betreuung während der Dissertation danke ich der M. Sc. Psychologin, Liming Wu.

Mein herzlicher Dank gilt meiner Familie und meinem Lebenspartner, die an das Gelingen meiner Dissertation geglaubt haben.

Lebenslauf

Beata Schmidt

geboren in Hatton/Sri Lanka am 28.08.1964

Schulbildung

1970 – 1975	Grundschule Berlin
1975 – 1982	Freiherr v. Stein Gymnasium Oldenburg/Holstein
1982 – 1984	Gymnasium in Bad Schwartau Abschluss: Abitur
08/1985 – 06/1987	Ausbildung zur Hotelfachfrau im Hotel Reichshof Hamburg
06/1987 – 12/1987	Weiterbeschäftigung im Hotel Reichshof
01/1988 – 12/1989	Beschäftigung Allianz Versicherung Hamburg

Studium

10/1989	Medizinstudium Georg-August-Universität Göttingen drei Urlaubssemester wegen Kindererziehung
03/1994	Ärztliche Vorprüfung
03/1996	1. Staatsexamen Medizin
09/1997	2. Staatsexamen Medizin
19/1997	Praktisches Jahr, Wahlfach Pädiatrie
10/1998	3. Staatsexamen Medizin

Ärztliche Tätigkeit

03/1999 – 08/2000	18 Monate AIP Fachbereich Pädiatrie Martin-Luther-Krankenhaus Schleswig
-------------------	---

09/2000 – 11/2000	Bereitschaftsärztin Fachbereich Pädiatrie Martin-Luther-Krankenhaus Schleswig
01/2001	Eintritt Bundeswehr, Truppenarzt Marinestandortsanitätszentrum Warnemünde
09/2002	Weiterbildung Allgemeinmedizin für 6 Monate, Truppenarzt Marinestandortsanitätszentrum Eckernförde
10/2003	Weiterbildung 1 Jahr Innere Medizin Schifffahrtmedizinisches Institut Kiel
10/2004	Weiterbildung 6 Monate Chirurgie Facharztzentrum Kiel
04/2005	Weiterbildung 6 Monate Allgemeinmedizin zivile Praxis, Dr. med. C. R. Drenck Neu Wulmstorf
11/2005	Facharztprüfung Allgemeinmedizin
03/2006 – 07/2006	Truppenarzt Auslandseinsatz Bosnien
07/2006	Truppenarzt Fachsanitätszentrum Augustdorf
01/2009	Dienstzeitende Bundeswehr
01/2009 – 10/2010	Facharztausbildung Psychiatrie/ Psychotherapie Psychosomatische Fachklinik Horn- Bad Meinberg
11/2010 – 10/2013	Wiedereintritt Bundeswehr im Bundeswehrkrankenhaus Hamburg, Facharztweiterbildung Psychiatrie
11/2013 – 10/2014	Weiterbildung Neurologie Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
10/2014	Dienstzeitende Bundeswehr
1/2015	Angestellte FÄ für Allgemeinmedizin in dem MVZ Kropp

Honorartätigkeit

06/2003 – 01/2007	Honorarärztin Mutter und Kind Klinik Grömitz
seit 2006	Honorarärztin Psychosomatischen Fachklinik Horn-Bad Meinberg

Zusatzbezeichnung

06/2004 Naturheilverfahren Ärztekammer Bad Segeberg
01/2011 Ärztlicher Psychotherapeut Ärztekammer Bad Segeberg

Fachkunde:

6/2010 Gruppenpsychotherapie Lehrinstitut Bad Salzuflen
4/2015 Balintleiter der Deutschen Balintgesellschaft

Hobbies: Tanzen (Standard, Latein), Skiabfahrt

Kropp, den

Beata Schmidt

Body cooling in cold water improves dynamic functional nasal parameters

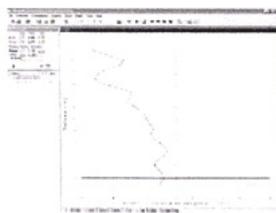
B. Schmidt¹, W. Kähler¹, T. Wunderlich¹, J. Witte¹, B. Winkler², J. Kowalski¹, I. Koch¹, A. Koch¹

¹German Naval Medical Institute – Section of Maritime Medicine of the Christian-Albrechts-University, Kiel, Germany

²Dept. of Anesthesiology, University Ulm, Germany

Background:

Diving is associated with a number of hazards, and one of them is a barotrauma of the middle ear or the sinusoids due to blocking of the nose and problems with pressure equalization. Little is known, if diving in cold water might increase the risk of nose blocking by swelling of the musosae.



Method:

We exposed 28 male volunteers (22.6±3.5ys, BMI 24.2±3.6) in a basin to 18°C water temperature in head-out immersion until subjective end of well-being.

Rectal temperature was measured before and after exposure, and acoustic rhinomanometry as well as rhinoresistometry were used for measurement of functional nasal flow parameters.

Results I:

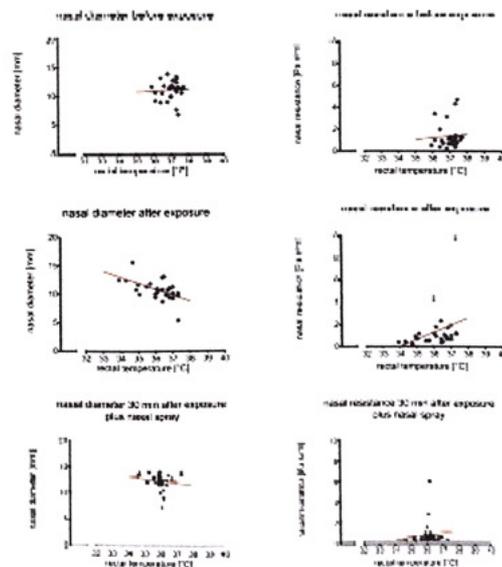
Mean exposure time in the basin until end of well-being was 35.5±13 min.

Rectal temperature dropped from 36.9±0.4 °C to 36.1±0.9 °C directly after leaving the basin and further to 35.9±0.6 °C in the late measurement 30 min after leaving the basin.

Results II:

Rhinoresistometry revealed that

- nasal diameter correlated significantly negative with rectal temperature ($p=0.007$), and
- nasal resistance decreased significantly concordant to rectal temperature ($p=0.023$), too.



Conclusion:

Mild core cooling due to cold water immersion is accompanied by an improvement in some dynamic functional nasal parameters.

Thus, diving in cold water seems not to increase the risk of nose blocking.

Schmidt, B., Kähler, W., Wunderlich, T., Witte, J., Winkler, B. E., Kowalski, J., Koch, I., & Koch, A. (2012). Body cooling in cold water improves dynamic functional nasal parameters. *EUBS 38th annual meeting of the European Underwater and Baromedical Soc.*, Sept. 2012, Belgrade, Serbia.