

Aus dem Institut für Sport- und Präventivmedizin
der Universität des Saarlandes, Saarbrücken
Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr. med. Tim Meyer

**Auswirkungen von inspiratorischem Muskeltraining
auf Leistungsfähigkeit und Atemökonomie von
Ausdauerläufern**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes

2012

vorgelegt von

Aline Janis Weiten

geboren am 27.02.1987 in Merzig

Tabellenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Zusammenfassung	1
Summary	3
1. Einleitung	5
1.1 Anatomie und Physiologie des respiratorischen Systems in Ruhe und bei körperlicher Belastung.....	6
1.1.1 Ermüdung der respiratorischen Muskulatur.....	7
1.2 Formen des respiratorischen Muskeltrainings (RMT).....	10
1.2.1 Respiratory muscle endurance training (RMET) bzw. voluntary isocapnic hyperpnea (VIH).....	10
1.2.2 Expiratory muscle training (EMT)	
Expiratory pressure threshold loading	11
1.2.3 Inspiratory muscle training.....	11
1.2.3.1 Inspiratory flow resistive loading (IFRL).....	11
1.2.3.2 Inspiratory pressure threshold loading.....	12
1.3 Erfolgsbewertung der verschiedenen Formen des respiratorischen Muskeltrainings	13
1.3.1 Ergebnisse des respiratory muscle endurance training (RMET).....	13
1.3.2 Ergebnisse des expiratory muscle training (EMT)	13
1.3.3 Ergebnisse des inspiratory muscle training (IMT).....	14
1.4 Forschungsdefizit	15
1.5 Untersuchungsziel und Fragestellung	18
2. Methoden	20
2.1 Studiendesign	20
2.1.1 Studienablauf	20

2.1.2	Probanden.....	21
2.1.3	Eingangsuntersuchung.....	22
2.1.4	Laufbandstufentest.....	22
2.1.5	5000 m-Lauftest	24
2.1.6	Randomisierung	24
2.1.7	Trainingsphase.....	26
2.2	Messmethodik und Ermittlung der Parameter	27
2.2.1	Laufbandstufentest und 5000 m-Lauftest.....	27
2.2.2	Spiroergometrie.....	28
2.2.3	Laktatbestimmung	30
2.2.4	Anthropometrische Daten.....	31
2.2.5	Herzfrequenz.....	31
2.2.6	Statistik.....	31
3.	Ergebnisse	33
3.1	Dropouts	33
3.2	Ausgangsparameter der beiden Gruppen	33
3.3	Compliance	34
3.4	Erreichtes Widerstandsniveau beim IMT.....	34
3.5	Indikatoren der Leistungsfähigkeit.....	35
3.5.1	5000 m-Lauf	35
3.5.2	Individuelle anaerobe Schwelle (IAS).....	36
3.5.3	Maximale Laufgeschwindigkeit (v_{\max}) und maximale spezifische Sauerstoffaufnahme ($sVO_{2\max}$).....	37
3.5.4	Durchschnittliche spezifische Sauerstoffaufnahme im 5000 m-Lauf ($sVO_{2\ 5000\ m}$)	38
3.6	Atemphysiologie in Ruhe	39
3.6.1	Maximaler statischer Inspirationsdruck (PI_{\max})	39

3.6.2	Forcierte Vitalkapazität (FVC) und Einsekundenkapazität (FEV1)	40
3.7	Atemphysiologie im Laufbandtest	41
3.7.1	Maximales Atemminutenvolumen im Laufbandstufentest (AMV _{max}).....	41
3.7.2	Maximale Atemfrequenz im Laufbandstufentest..... (AF _{max})	42
3.7.3	Maximales Atemzugvolumen im Laufbandstufentest (AZV _{max}).....	42
3.8	Atemphysiologie im 5000 m-Lauf	43
3.8.1	Durchschnittliches Atemminutenvolumen im 5000 m-Lauf (AMV _{5000 m})	43
3.8.2	Durchschnittliche Atemfrequenz im 5000 m-Lauf (AF _{5000 m}).....	44
3.8.3	Durchschnittliches Atemzugvolumen im 5000 m-Lauf (AZV _{5000 m})	44
3.8.4	Spiroergometrieparameter im Verlauf des 5000 m-Laufes.....	45
3.9	IMT-Einschätzung der Probanden.....	46
4.	Diskussion	47
4.1	Diskussion Ergebnisse.....	47
4.1.1	Indikatoren der Leistungsfähigkeit.....	47
4.1.2	Atemphysiologie in Ruhe.....	51
4.1.3	Atemphysiologie im Laufbandstufentest.....	53
4.1.4	Atemphysiologie im 5000 m-Lauf	53
4.1.5	Subjektive Befragung der Probanden.....	54
4.2	Methodenkritik.....	55
4.3	Überprüfung der Hypothesen	56
4.4	Schlussfolgerung und Ausblick	57

Literaturverzeichnis.....	59
Anhang	69
Publikation.....	75
Kommentar	76
Danksagung	77
Lebenslauf.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probanden beim Eingangstest....	22
Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Verum- und Kontrollgruppe.....	24
Tabelle 3: Anthropometrische Daten der Dropouts	26
Tabelle 4: Ausgangsparameter Verum- und Kontrollgruppe	33
Tabelle 5: Durchschnittliche IMT-Einheiten pro Woche	34
Tabelle 6: Veränderung der $VO_{2\max}$ und v_{\max}	37
Tabelle 7: AMV, AF, VO_2 und VCO_2 im Verlauf des 5000 m-Laufes.....	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Respiratorischer Muskel-Metaboreflex.....	10
Abbildung 2: Studienverlauf Skizze.....	21
Abbildung 3: Laufband „ELG 70“	23
Abbildung 4: Stratifizierte Randomisierung der Probanden	25
Abbildung 5: „POWERbreathe® Heavy Resistance (Sports)”	27
Abbildung 6: „Metamax II" mit Zubehör.....	29
Abbildung 7: Erreichtes Widerstandsniveau beim IMT.....	34
Abbildung 8: Veränderung der 5000 m-Zeit Test 1 und Test 2	35
Abbildung 9: Veränderung der IAS Test 1 und Test 2.....	36
Abbildung 10: Veränderung des PI_{max} Test 1 und Test 2.....	39
Abbildung 11: Veränderung des AMV_{max} Test 1 und Test 2	41
Abbildung 12: Veränderung des $AMV_{5000\ m}$ Test 1 und Test 2.....	43
Abbildung 13: IMT-Einschätzung der Verum- und Kontrollgruppe	46
Abbildung 14: IMT-Einschätzung der Probanden gesamt.....	46

Abkürzungsverzeichnis

α	Signifikanzgrenze
AF	Atemfrequenz
AF _{5000 m}	durchschnittliche Atemfrequenz im 5000 m-Lauf
AF _{max}	maximale Atemfrequenz im Laufbandstufentest
AMV	Atemminutenvolumen
AMV _{5000 m}	Durchschnittliches Atemminutenvolumen im 5000 m-Lauf
AMV _{max}	maximales Atemminutenvolumen im Laufbandstufentest
ATP	Adenosintriphosphat
AZV	Atemzugvolumen
AZV _{5000 m}	durchschnittliches Atemzugvolumen im 5000 m-Lauf
AZV _{max}	maximales Atemzugvolumen beim Laufbandstufentest
BMI	Body-Mass-Index
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyografie
EMT	expiratorisches Muskeltraining
et al.	und andere
F	Prüfgröße bei der ANOVA
FEV1	Einsekundenkapazität
FVC	forcierte Vitalkapazität
HF _{max}	maximale Herzfrequenz
IAS	individuelle anaerobe Schwelle
IFRL	inspiratory flow resistive loading
IMT	inspiratorisches Muskeltraining
m	männlich
M.	Musculus
Max	Maximum
Min	Minimum
Mm.	Musculi
MSVC	maximum sustainable ventilatory capacity
MW	Mittelwert
n	Anzahl der Probanden
O ₂	Sauerstoff
p	Fehlerwahrscheinlichkeit

P_{di}	transdiaphragmaler Druck
PI_{max}	maximaler statischer Inspirationsdruck
PE_{max}	maximaler statischer Expirationsdruck
pCO_2	Kohlenstoffdioxidpartialdruck
RMET	respiratory muscle endurance training
RMT	respiratorisches Muskeltraining
SD	Standardabweichung
SMIP	sustained maximal inspiratory pressure
STPD	standard temperature, pressure, dry
sVO_2	spezifische Sauerstoffaufnahme
sVO_{2max}	spezifische maximale Sauerstoffaufnahme
sVO_{25000m}	durchschnittliche spezifische Sauerstoffaufnahme im 5000 m-Lauf
VIH	voluntary isocapnic hyperpnea
VC	Vitalkapazität
V_{max}	maximale Laufgeschwindigkeit
VCO_2	Kohlenstoffdioxidabgabe
VO_2	Sauerstoffaufnahme
VO_{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
w	weiblich

Zusammenfassung

Einleitung

Seit Ende der achtziger Jahre gibt es einige wissenschaftliche Arbeiten, die zeigen, dass die Ermüdung der Atemmuskulatur ein limitierender Faktor für die Leistungsfähigkeit von Sportlern sein kann. Seitdem gab es mehrere Studien, die mit unterschiedlichen Atemtrainingsmethoden versuchten, vor allem die Ausdauerleistung von Sportlern in verschiedenen Sportarten zu steigern. Die Studien konnten zu keinem einheitlichen Ergebnis kommen. Bisher gibt es keine wissenschaftlichen Belege, wie das Atemmuskeltraining die Leistung verbessern kann. Möglicherweise kann durch eine Ökonomisierung der Atemarbeit ein geringerer Sauerstoffbedarf der Atemmuskulatur erreicht werden. Diese Studie untersuchte, ob ein sechswöchiges inspiratorisches Muskeltraining zu einer Leistungsverbesserung sowie einer Veränderung des Atemmusters bei ambitionierten Freizeitläufern führt und somit eine sinnvolle Ergänzung zum Lauftraining darstellt. Bisher ist die Datenlage hierzu uneinheitlich.

Methodik

30 ambitionierte Freizeitläufer (3 weiblich, 27 männlich; Alter: 35 ± 14 ; Body-Mass-Index: $23,2 \pm 1,7$; spezifische maximale Sauerstoffaufnahme (sVO_2_{max}): $64,3 \pm 7,9$ ml/kg/min) absolvierten ein sechswöchiges inspiratorisches Muskeltraining (IMT - pressure threshold loading), welches auf einem flussunabhängigen Widerstand, der die Inspiration erschwert, basiert. Das Training bestand aus einmal täglich 50 Atemzügen mit dem handelsüblichen Atemmuskeltrainer „POWERbreathe® Heavy Resistance (Sports)“ der Firma POWERbreathe®. Die stratifizierte Randomisierung der Probanden in eine Verumgruppe (n=15, Training mit steigendem Widerstand) und eine Kontrollgruppe (n=15, Training auf dem geringstmöglichen Widerstandsniveau) erfolgte an Hand der Kriterien sVO_2_{max} und Alter. Jeder Proband absolvierte eine Eingangsuntersuchung, bestehend aus Anamnese, körperlicher Untersuchung, Messung anthropometrischer Daten, Ruhe-EKG, Ganzkörperplethysmographie und einer Messung des maximalen statischen

Inspirationsdrucks (PI_{max}). Darüber hinaus wurde eine ausbelastende Laufbandergometrie in Form eines Stufentests (2,5 m/s, Steigerung alle 3 Minuten um 0,5 m/s) und 2 bis 3 Tage später ein 5000 m-Lauf in einer Leichtathletikhalle durchgeführt. Bei beiden Lauftests erfolgte simultan eine ambulante Spiroergometrie. Nach der sechswöchigen Trainingsphase, in der das individuelle Lauftraining wie gewohnt fortgeführt wurde, wurden die Lungenfunktionsprüfung, Laufbandstufentest und der 5000 m-Lauf nach dem gleichen Protokoll wie beim Eingangstest wiederholt.

Ergebnisse

Der PI_{max} erhöhte sich in der Verumgruppe um 19,5% und in der Kontrollgruppe um 10,6% mit einem tendenziellen Unterschied ($p=0,085$) zwischen den beiden Gruppen. Bei allen anderen im Rahmen der Spirometrie, beim Laufbandstufentest und im 5000 m-Lauf ermittelten Parametern gab es nach dem Atemmuskeltraining keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Lediglich das durchschnittliche Atemminutenvolumen wies einen signifikanten Unterschied ($p=0,04$) zwischen den beiden Gruppen auf. Da weder die Veränderung innerhalb der Verumgruppe, noch der Kontrollgruppe vor und nach dem inspiratorischen Atemtraining, signifikant waren, wird diese natürlichen tagesabhängigen Schwankungen zugeschrieben.

Die Mehrheit der Probanden (76,7%), unabhängig davon, ob sie das Verum- oder Shamtraining absolvierten, beantworteten die Frage nach dem subjektiven Nutzen des IMT mit „ja“ oder „vielleicht“ und nur 23,3% mit „nein“. Die Zufriedenheit der Probanden der Verumgruppe (66,6% bejahten diese Frage) war signifikant höher ($p=0,004$) als die der Kontrollgruppe (26,7%).

Schlussfolgerung

Bei ambitionierten Freizeitläufern ist von einem inspiratorischen Muskeltraining (pressure threshold loading) kein sicherer Gewinn zu erwarten. Gute Durchführbarkeit und Anwenderzufriedenheit waren gegeben. Eine Empfehlung zur breiten Anwendung kann aufgrund der Studie nicht gegeben werden.

Summary

The influence of inspiratory muscle training on athletic performance and the breathing economy of recreational runners

Introduction

Since the late 1980`s several academic studies have indicated, that the exhaustion of the respiratory muscles can be a limiting factor of athletic performance. Since then, there have been sundry studies, which have tried to increase the endurance performance of athletes in various sports by employing different breathing training methods. These studies have not been able to find concurrent results and so far there has been no scientific evidence of how the respiratory muscle training can increase the performance of athletes. Possibly an economization of breathing can lead to a reduced need for oxygen. This study analyses, whether a six-week inspiratory muscle training results in an improvement of performance and in a change of breathing patterns in ambitious recreational runners and whether it is therefore a useful complement to the running training. Until now the available data records have been inconsistent.

Methods

30 ambitious recreational runners (3 female, 27 male; age: 35 ± 14 ; body-mass-index: $23,2 \pm 1,7$; specific maximal oxygen uptake ($sVO_{2 \max}$): $64,3 \pm 7,9$ ml/kg/min) completed a six-week inspiratory muscle training (IMT - pressure threshold loading), based on a flow independent resistance which hampers the inspiration. The training consisted of 50 breaths a day with the commercially available respiratory muscle trainer „POWERbreathe® Heavy Resistance (Sports)“ of the company POWERbreathe®. The test persons were randomly assigned to either a training group (n=15, training with an increasing resistance) or a placebo group (n=15, training with the least resistance) by $sVO_{2 \max}$ and age. Each test taker received an entrance examination, which included an anamnesis, a physical examination, measurement of corporal data, resting ECG, bodyplethysmography and a measurement of the maximum static inspiratory mouth pressure (PI_{\max}). Furthermore an exhausting incremental treadmill test (2,5 m/s, increase of 0,5 m/s every 3 minutes)

and 2 or 3 days later a 5000 m running test in a track and field hall were conducted. For each test an ambulant spiroergometry was used. After a six-week phase of training, during which the subjects did their habitual running training, we repeated the pulmonary function test, the treadmill test and the 5000 m running test according to the protocol of the entrance test.

Results

In the training group PI_{max} increased by 19,5% and in the placebo group by 10,6% with a non-significant difference ($p=0,085$) between the groups. There were no significant differences after the inspiratory muscle training in any parameters of the spirometry, the treadmill test and 5000 m running test.

Only the average pulmonary minute volume showed a significant difference between the two groups. Considering that there were no significant differences within the groups this difference is attributed to the day-dependant deviations.

The majority of test persons (76,7%) answered the question, whether there is a subjective profit of the IMT with “yes” or “maybe”, no matter whether they were doing the verum- or sham training. Only 23,3% answered with “no”. The satisfaction of the training group (66,6% answered in the affirmative) was significantly higher ($p=0,004$) than in the placebo group (26,7%).

Conclusion

There is no reliable profit of the inspiratory muscle training (pressure threshold loading) for ambitious recreational runners. Adaptability and subject satisfaction were given. Due to the study result a recommendation for general use cannot be given.

1. Einleitung

Früher ging man davon aus, dass die sportliche Leistungsfähigkeit bei Ausdauerbelastungen nur durch den Stoffwechsel der Muskelzelle und/oder das Herz-Kreislaufsystem (Ouellet et al., 1969) limitiert ist. Deshalb war das Ausdauertraining ausschließlich auf diese Ansatzpunkte ausgerichtet. Man versuchte durch Training die Leistungsfähigkeit der Muskulatur (z.B. Erhöhung der Enzymaktivität) und des Herzens (z.B. Erhöhung des Herzminutenvolumens) zu fördern.

Noch heute werden 2 verschiedenen Modelle zur Limitation von Belastungen diskutiert. Zu einem das „Kardiovaskuläre/Anaerobe Modell“ und zum anderen ein Modell, das einen zentralen regulierenden Einfluss auf die Skelettmuskelkontraktion beschreibt (Noakes, 1997). Bei erst genanntem wird die Limitation peripheren Ursachen zugeschrieben. Es wird angenommen, dass die Sauerstoffbereitstellung des Herzens die aerobe Leistung des Muskels limitiert (Bergh et al., 2000). Somit wird in der Sauerstoffaufnahme (VO_2) einer der Hauptfaktoren gesehen, die die Leistungen bei Ausdauerbelastungen begrenzen (Peronnet et al., 1991; di Prampero, 2003). Die maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_{2\ max}$) ist bei Belastungen von großen Muskelgruppen hauptsächlich durch den Sauerstofftransport, der sich aus dem kardialen Auswurf und der Sauerstofftransportkapazität ergibt, festgelegt (di Prampero, 2003).

Im zweiten Modell steht ein zentraler Gedanke im Vordergrund. So wird vermutet, dass es einen speziellen zentralen Kontrollmechanismus gibt, der die Skelettmuskelbeanspruchung und Kontraktionsfähigkeit reguliert um Schäden unterschiedlicher Organe (vor allem eine Ischämie am Herzen) zu vermeiden (Noakes, 2001). Unter anderem soll dieser zentrale Kontrollmechanismus das Kreislaufsystem während starker Belastungen kontrollieren. So wird die limitierte $VO_{2\ max}$ als Konsequenz für die Arbeitsbeschränkung des Herzens durch den Kontrollmechanismus gesehen.

Mit der Entdeckung von Hill und Lupton (1923), dass die $VO_{2\ max}$ nicht kontinuierlich mit steigender Belastungsintensität ansteigt, ist die $VO_{2\ max}$ in den Fokus von Diskussionen zur Limitation von Ausdauerbelastungen gerückt.

Aber auch andere Faktoren wie zum Beispiel die sportspezifische Ökonomie, die anaerobe Kapazität, die Kraftererschöpfung, die Geschwindigkeit am maximal steady state und die Motivation des Sportlers spielen bei der Limitation von Belastungen eine Rolle (Joyner, 1991; Peronnet et al., 1991; di Prampero, 2003; Joyner und Coyle, 2008).

Es wurde lange nicht in Erwägung gezogen, dass die Atmung bzw. die respiratorische Muskulatur auch eine limitierende Rolle spielen könnte. Man erklärte dies unter anderem damit, dass selbst bei maximaler Leistung der Atemgrenzwert, der dem bei maximalem Atemzugvolumen und maximaler Atemfrequenz pro Minute ventilierbare Atemluftvolumen entspricht, nicht erreicht wurde und zunächst kein Abfall der Sauerstoffsättigung beobachtet wurde. Somit lag der Gedanke nahe, dass andere Faktoren zum Abbruch bei Ausbelastung führen müssten.

Heute schließt man die respiratorische Muskulatur als begrenzenden Faktor der sportlichen Ausdauerleistungsfähigkeit nicht mehr aus. Die ersten wissenschaftlichen Studien, die sich näher mit der Rolle der Atmung bzw. der respiratorischen Muskulatur als limitierendem Faktor bei Ausdauerleistungen beschäftigten, erschienen Ende der achtziger Jahre (z.B. Dempsey; 1986). Seitdem gab es mehrere wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema (Übersichtsartikel siehe Spengler und Boutellier, 2000).

1.1 Anatomie und Physiologie des respiratorischen Systems in Ruhe und bei körperlicher Belastung

Zum respiratorischen System zählen alle Strukturen und Funktionen, die die Atmung ermöglichen. Es umfasst die Atemwege, die Lunge, den Brustkorb und die Atemregulation. Aufgabe ist es den Gasaustausch zwischen Umwelt und Organismus zu ermöglichen. Die Belüftung der Lunge wird durch die sogenannte „Atempumpe“ gewährleistet. Hierzu gehören das Atemzentrum im Gehirn, zentrale und periphere Nerven, der knöcherner Thorax und die respiratorische Muskulatur. Der Gasaustausch findet durch Diffusion in den Alveolen statt.

Die respiratorische Muskulatur bewirkt bei der Inspiration eine aktive Vergrößerung und bei der Expiration eine Verkleinerung des Thoraxinnenraums. Die Inspiration wird in Ruhe in erster Linie durch das Zwerchfell und zu einem kleineren Teil durch die Musculi (Mm.) intercostales externi durchgeführt. Die Expiration erfolgt in der Regel in Ruhe passiv durch elastische Rückstellkräfte des Thorax und der Lunge. Diese kann durch die Mm. intercostales interni und den Musculus (M.) transversus thoracis unterstützt werden. Darüber hinaus kann bei sportlichen Belastungen sowie bei forcierter Atmung die inspiratorische (Mm. scaleni, Mm. sternocleidomastoideus und Mm. pectorales) und die expiratorische Atemhilfsmuskulatur (Bauchmuskulatur) zum Einsatz kommen. Dies geschieht auch bei allen weiteren Formen von Dyspnoe und bei Lähmung eines Teils der Atemmuskeln, z.B. bei neuromuskulären Erkrankungen oder Querschnittsläsionen.

1.1.1 Ermüdung der respiratorischen Muskulatur

Schon früh stellten einige Arbeitsgruppen fest, dass die respiratorische Muskulatur während einer Ausdauerbelastung genauso wie die "arbeitende" periphere Bein- oder Armmuskulatur ermüdet (Johnson et al., 1993; Loke et al., 1982; Mador et al., 1993) und dass das Atmungssystem bei Ausdauersportlern langsamer ermüdet als bei Untrainierten (Johnson et al., 1996). Die Definition einer Ermüdung der respiratorischen Muskulatur und deren objektive Darstellung gestaltet sich schwierig (NHLBI, 1990; Romer und Polkey, 2008).

Je nach Studie wurden verschiedene Messmethoden angewendet:

- Messung der Abnahme des transdiaphragmalen Druckes (P_{di} , Unterschied zwischen dem Druck im Ösophagus und im Magen) während elektrischer bilateraler transcutaner supramaximaler Stimulation des Nervus phrenicus (Johnson et al., 1993; Mador et al., 1993) oder während eines maximalen inspiratorischen Manövers (Sprengler und Boutellier, 2000). Um zu garantieren, dass der Nervus phrenicus supramaximal stimuliert wurde, wurden zwei EMG-Elektroden über jede Zwerchfellhälfte im sechsten oder siebten Intercostalraum in der Mitte von vorderer und mittlerer Axillarlinie auf dem Thorax platziert. Eine supramaximale Stimulierung ist unverzichtbar, da man davon ausgeht,

dass bei einer supramaximalen Reizung alle Nervenfasern stimuliert und damit alle motorischen Einheiten aktiviert sind. Somit hätte eine weitere Erhöhung des Stimulus keine weitere Erhöhung des Aktionspotentials zur Folge (Polkey und Moxham, 2001). Die Drücke im Ösophagus und im Magen wurden mithilfe von Ballonkathetern gemessen. Der transdiaphragmale Druck ist eine objektive Messmethode der Zwerchfellkontraktionskraft. Die Studien konnten zeigen, dass die Kontraktionskraft des Zwerchfelles nach kurzer (10-30 min) und intensiver Belastung reduziert war.

- Messung der Abnahme des maximal statischen inspiratorischen und expiratorischen Munddruckes (Volianitis et al., 2001). Diese Drücke entsprechen denjenigen, die maximal gegen ein verschlossenes Ventil erbracht werden können und werden verwendet um die inspiratorische und expiratorische Muskelstärke zu messen. Hierzu kann ein tragbarer Munddruckmeter (Precision Medical, London, United Kingdom), der in der Hand gehalten wird, verwendet werden.

In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass eine Erschöpfung der respiratorischen Muskulatur die Leistungsfähigkeit limitieren kann (Mador und Acevedo, 1991; Martin et al., 1982; Verges et al., 2007). Mador und Acevedo (1991) ließen ihre Probanden bis zur Ausbelastung bei 90% ihrer maximalen Wattleistung Rad fahren. Martin et al. (1982) zeigten dies bei kurzer maximaler Laufbelastung und Verges et al. (2007) bei einem zwölfminütigen Lauf bei maximaler Intensität.

Es gibt einige Theorien über den verantwortlichen Mechanismus, aber noch keine genauen Erkenntnisse (Dempsey et al., 2008). So konnte nicht einheitlich gezeigt werden welche Auswirkungen die Ermüdung der Atemmuskulatur auf die Leistungsfähigkeit hat. Einige Studien, in denen versucht wurde die Ermüdung der respiratorischen Muskulatur durch Entlastung abzuschwächen, konnten keinen Effekt auf die Atmung (wie z.B. das Atemminutenvolumen) oder die Leistung (wie z.B. ein Radfahrtest bis zur Erschöpfung bei 85% der $VO_{2\ max}$) feststellen (Gallagher und Younes, 1989; Kabitz et al., 2008a; Kabitz et al., 2008b; Krishnan et al., 1996). Die Arbeiten von Harms et

al. wiederum zeigten signifikante Leistungsverbesserungen (wie z.B. eine Verlängerung der Zeit bis zur Erschöpfung bei einem Radfahrtest bei 90% der $VO_{2\ max}$ mit Entlastung der respiratorischen Muskulatur und eine Verkürzung dieser Zeit bei einer zusätzlichen Belastung dieser Muskulatur) (Harms et al., 1997; Harms et al., 1998). Zur Reduzierung der inspiratorischen Atemarbeit wurden 2 verschiedenen Methoden verwendet. Entweder wurden die Probanden während der Belastung nicht-invasiv druckbeatmet, oder sie atmeten eine Helium/Sauerstoff-Mischung ein. Dieses Gemisch hat einen geringeren Atemflusswiderstand als normale Atemluft und lässt sich dadurch leicht einatmen. Kabitz et al. (2007) stellte fest, dass sich die Ermüdung vor allem des Zwerchfells eher nach als während der Belastung manifestierte. Die Arbeitsgruppe hat hierfür den transdiaphragmalen Druck bei bilateraler Stimulation des Nervus Phrenicus gemessen, der unmittelbar nach der Belastung signifikant kleiner als während der maximalen Belastung war.

Es konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass sowohl Untrainierte als auch Trainierte von einem Atemtraining profitierten und ihre Ausdauerleistung verbessern konnten (McConnell und Romer, 2004). Bisher konnte nachgewiesen werden, dass dies für Ausdauerleistungen bei konstanter Intensität und bei Belastungen über einen festgelegten Zeitraum (6-60min) gilt, nicht jedoch für Belastungen bei maximaler Intensität (McConnell und Romer, 2004). In Kapitel 2.3 werden die Ergebnisse vor allem hinsichtlich der Leistungsverbesserung der einzelnen Atemmuskeltrainingsformen detaillierter aufgeführt. Einheitlich stellten alle Studien fest, dass keine Verbesserung der Maximalleistung oder der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_{2\ max}$) eintritt.

Zur Mechanismusbeschreibung gibt es verschiedene Erklärungsansätze wie zum Beispiel eine Erhöhung der Schwelle für die Aktivierung des inspiratorischen Muskel-Metaboreflex (Chiappa et al., 2008; McConnell und Lomax, 2006; Witt et al., 2007). Dieser soll (wie in Abbildung 1 dargestellt) durch eine Sympathikusaktivierung mit folgender Vasokonstriktion der Blutgefäße der Arbeitsmuskulatur zu einem verminderten Blutfluss zu den Extremitäten führen. Somit sinkt auch das Sauerstoffangebot und es wird angenommen, dass dadurch die periphere Muskulatur schneller ermüdet und es zur zentralen

Ermüdung kommt (Dempsey et al., 2008). Ein weiterer Ansatzpunkt ist eine Abschwächung der Ermüdungswahrnehmung durch zentrale metabolische Kontrolle/zentrale Regulatoren (Edwards und Walker, 2009), sodass sich die Belastung nach einem IMT weniger anstrengend anfühlt (Gething et al., 2004; Romer et al., 2002a).

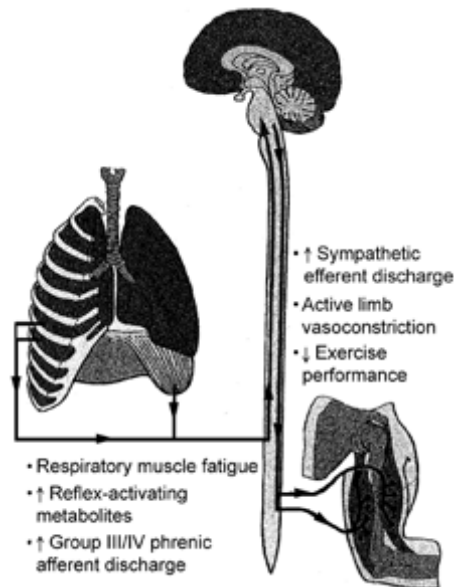


Abbildung 1: Respiratorischer Muskel-Metaboreflex (nach Seals, 2001)

1.2 Formen des respiratorischen Muskeltrainings (RMT)

Es gibt unterschiedliche Formen die respiratorische Muskulatur zu trainieren. Die unterschiedlichen Trainingsmethoden werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

1.2.1 Respiratory muscle endurance training (RMET) bzw. voluntary isocapnic hyperpnea (VIH) (Ausdauertraining der respiratorischen Muskulatur)

Diese Methode entspricht einer willkürlichen Hyperventilation von bis zu 30 Minuten und beansprucht sowohl die expiratorische als auch die inspiratorische Muskulatur (McConnell und Romer, 2004). Um eine Hypokapnie zu vermeiden, wird ein Teil des Exhalats durch einen Rückatembeutel wieder eingeatmet und somit ein Abfall des Kohlenstoffdioxidpartialdrucks (pCO_2)

verhindert. In manchen Studien wurde zusätzlich Sauerstoff (O₂) zugeführt. Dieses Training wird 3 bis 5 Mal pro Woche durchgeführt. Die Trainingsintensität liegt bei 60-90% des maximalen Atemvolumens (AMV).

Das RMET ist zeitaufwendig und verlangt dem Anwender ein hohes Maß an Motivation ab. Ein Gerät mit dem Namen „Spirotiger®“ (Firma Idiag AG Fehraltorf, Schweiz) setzt diese Methode alltagstauglich um. Es sollte bei der Anwendung beachtet werden, dass durch die hohen ventilatorischen Flussraten beim RMET die Atemwege austrocknen können und bei Anwendern, die zur belastungsinduzierter Bronchokonstriktion neigen, eine Atemwegsverengung entstehen kann (McConnell und Romer, 2004).

1.2.2 Expiratory muscle training (EMT) Expiratory pressure threshold loading (Expiratorisches Muskeltraining)

Beim EMT wird die expiratorische Muskulatur trainiert. Hierbei atmet der Anwender gegen einen Widerstand aus, was die Expiration erschwert. Da es kein eigens für diese Muskelgruppe entwickeltes Gerät gibt, wurden in den Studien umgewandelte inspiratorische Atemtrainer verwendet (Suzuki et al., 1995) oder Geräte, die zwar einen Widerstand während Inspiration und Expiration aufweisen (z.B. Powerlung® der Firma Powerlung Inc. Houston, USA), aber bei denen die Klappe, die den Widerstand bei der Inspiration erzeugt, entfernt wurde (Griffiths und McConnell, 2007). Das expiratorische Muskeltraining wurde bei Suzuki et al. (1995) zweimal täglich für 15 Minuten über 4 Wochen durchgeführt. Der Widerstand betrug 30% des maximalen statischen Expirationsdruck (PE_{max}) und blieb über die Trainingsphase konstant.

1.2.3 Inspiratory muscle training (Inspiratorisches Muskeltraining)

Man unterscheidet 2 verschiedene Arten des IMT:

1.2.3.1 Inspiratory flow resistive loading (IFRL)

Das Prinzip dieser Methode entspricht dem Einatmen durch einen Strohhalm. Beim Einatmen bei gleicher Flussgeschwindigkeit steigt der Widerstand je

kleiner der Durchmesser ist. (Ein Gerät dazu wird von der Firma Philips Respironics (Amsterdam, Niederlande) unter dem Namen „Pflex®“ angeboten. Es bietet 6 verschiedene Öffnungen.) Wegen der Flussabhängigkeit des Widerstandes ist es nötig, bei dieser Methode die Flussgeschwindigkeit bestimmen zu können. Ein Gerät mit dieser Funktion ist sehr teuer und daher für den allgemeinen Gebrauch eines Sportlers nicht geeignet. Hinzu kommt, dass die Trainingseinheiten anstrengend und zeitaufwendig sind (eine komplette Einheit dauert mindestens 30 Minuten). Ein weiteres Gerät „RT Trainer®“ ist von der Firma Sunrise Medical (Carlsbad, CS, USA) entwickelt worden.

1.2.3.2 Inspiratory pressure threshold loading

Bei dieser Form des IMT atmet der Anwender gegen einen flussunabhängigen Widerstand ein. Er muss einen ausreichenden negativen Inspirationsdruck aufbringen um einen wählbaren Widerstand zu überwinden und einatmen zu können. Dieser Effekt kann mit gewichtsbelasteten Kolben (Clanton et al., 1985), mit einem gefederten Tellerventil (Caine und McConnell, 2000), mit einem magnetischen Ventil (Bardsley et al., 1993) oder einem konstant negativen Drucksystem (Chen et al., 1998) erzeugt werden.

Es gibt verschiedene Geräte, die dieses Prinzip umsetzen:

- POWERbreathe® (Hersteller: HaB International Ltdl, Warwickshire, United Kingdom)
- Threshold IMT® (Hersteller: Philips Respironics, Amsterdam, Niederlande)
- Powerlung® (Hersteller: Powerlung Inc., Houston, TX, USA)

Letzteres besitzt sowohl einen Widerstand bei Inspiration als auch bei Expiration.

1.3 Erfolgsbewertung der verschiedenen Formen des respiratorischen Muskeltrainings

1.3.1 Ergebnisse des respiratory muscle endurance training (RMET)

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass sich mithilfe von RMET die Ausdauerleistung beim Radfahren (Boutellier et al., 1992; Boutellier and Piwko, 1992; Markov et al., 2001; Stuessi et al., 2001; McMahon et al., 2002) verbesserte. Das gilt auch für die Zeit bis zur respiratorischen Erschöpfung bei ausdauernder isokapnischer Ventilation (Boutellier et al., 1992; Boutellier und Piwko, 1992; Markov et al., 2001; Spengler et al., 1999; Stuessi et al., 2001). Außerdem vergrößerten sich die Vitalkapazität (VC) (Belman und Graesser, 1988), der Atemgrenzwert (Belman und Graesser, 1988 ; Leith und Bradley, 1976) und die maximale kontinuierliche Atemkapazität, d.h. das Atemminutenvolumen, das für lange Zeit beibehalten werden kann (Belman und Gaesser, 1988; Keens et al., 1977; Leith und Bradley, 1976). RMET verbesserte weder den maximalen statischen Inspirationsdruck (Leddy et al., 2007; Leith und Bradley, 1976) noch die arterielle Sauerstoffsättigung oder das Herzminutenvolumen bei einem ausbelastenden Laufbandtest (Leddy et al., 2007). Die Steigerung der Ausdauerleistung konnte keiner Verbesserung des Sauerstofftransportsystems, muskulären oder psychologischen Faktoren oder kardiovaskulären Trainingseffekten zugeschrieben werden (Leddy et al., 2007, Markov et al., 2001; Stuessi et al., 2001).

1.3.2 Ergebnisse des expiratory muscle training (EMT)

Griffiths und McConnell (2007) konnten keine Verbesserung bei Ruderbelastungen, weder durch EMT noch durch kombiniertes inspiratorisches und expiratorisches Muskeltraining, zeigen. Eine weitere Studie bei Wettkampfschwimmern konnte ebenfalls keinen Effekt auf die Schwimmleistung feststellen (Wells et al., 2005). Die wenigen vorliegenden Daten lassen den vorläufigen Schluss zu, dass ein expiratorisches Muskeltraining für Sportler nicht sinnvoll ist.

1.3.3 Ergebnisse des inspiratory muscle training (IMT)

Mickleborough et al. (2010) konnten eine Verbesserung der Ausdauerleistung im Laufen bei 80% der $VO_{2\text{ max}}$ bei Freizeitläufern durch inspiratory flow resistive loading beobachten. Auch Gething et al. (2004) konnte eine Verbesserung in der Radfahrleistung bis zur Erschöpfung bei 75% der $VO_{2\text{ max}}$ nachweisen. Es konnte ein Anstieg von 32 bis 55 % des maximalen Inspirationsdrucks (PI_{max}) gezeigt werden (Gething et al., 2004; Hanel und Secher, 1991; Leith und Bradley, 1976; Mickleborough, 2010). Mickleborough (2010) und Gething et al. (2004) nahmen an Hand ihrer erhobten Daten an, dass IFRL Atmungsmechanismen, Sauerstoffaufnahme, Ventilation, Herzfrequenz, Blutdruck und Wahrnehmung während konstanten Belastungen beeinflussen kann.

Verschiedene Studien zeigten einen positiven Effekt von inspiratory pressure threshold loading auf. So erhöhte sich die Leistung von Untrainierten im 5000 m-Lauf (Edwards et al., 2008) und Trainierten in verschiedenen Ausdauersportarten wie zum Beispiel:

- in einem maximalem konstanten Lauftest bis zur Erschöpfung (Edwards und Cooke, 2004)
- im Ruderergometrietest (Griffiths und McConnell, 2007)
- im 25 km-Radzeitfahren (Johnson et al., 2007)
- über die 100 und 200 m-Schwimmdistanz (Kilding et al., 2010)
- im 20 und 40 km-Radzeitfahren (Romer et al., 2002a)
- im sechsminütigen Ruderausbelastungstest und über die Ruderstrecke von 5000 m (Volianitis et al., 2001)
- während wiederholter 20 m-Sprintbelastung (Romer et al., 2002b; Tong et al., 2008)

Andere Arbeiten konnten zwar eine signifikante Zunahme von Kraft und Zeit bis zur Ermüdung der inspiratorischen Muskulatur nachweisen, aber keine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit bei einer Laufbelastung bis zur Erschöpfung bei 85% der $VO_{2\text{ max}}$ (Williams et al., 2002) und über die 400 m-Schwimmstrecke (Kilding et al., 2010). Die $VO_{2\text{ max}}$ blieb unbeeinflusst (Edwards und Cooke, 2004; Inbar et al., 2000; Williams et al., 2002).

Durch Inspiratory pressure threshold loading konnten folgende Parameter der inspiratorischen Muskulatur verbessert werden:

- maximaler statischer Inspirationsdruck
(Clanton et al., 1985; Hart et al., 2001; Inbar et al., 2000; Kilding et al., 2010; Mickleborough et al., 2008; Mickleborough et al., 2010; Romer und McConnell, 2003; Romer et al., 2002a, Romer et al., 2002b; Suzuki et al., 1995; Volinaitis et al., 2001; Williams et al., 2002)
- maximale inspiratorische Flussgeschwindigkeit
(Romer und McConnell, 2003; Romer et al., 2002a; Romer et al., 2002b)
- maximale Kontraktionszeit der inspiratorischen Muskulatur
(Romer und McConnell, 2003; Romer et al., 2002b)
- Ausdauer der inspiratorischen Muskulatur
(Clanton et al., 1985; Inbar et al., 2000; Williams et al., 2002)

1.4 Forschungsdefizit

Im Leistungssport ist heutzutage die Suche nach zusätzlichen Trainingsformen, die nicht wesentlich die Beanspruchung bzw. die Ermüdung der Sportler steigern, attraktiv. Ein Atemtraining erfüllt diese Kriterien. Eine weitere theoretische Anwendungsmöglichkeit besteht während einer Verletzungsphase eines Sportlers um dessen Leistungsniveau aufrecht zu erhalten. Jedoch ist die Datenlage zum Atemtraining bei Sportlern mannigfaltig und uneinheitlich. Die wenigen vorliegenden Daten lassen den vorläufigen Schluss zu, dass ein expiratorisches Muskeltraining zu keiner Verbesserung der Leistungsfähigkeit führt. Durch VIH wird sowohl die inspiratorische und expiratorische Muskulatur trainiert. Mit dieser Methode sowie dem inspiratorischen Muskeltraining konnten Leistungsverbesserungen bei Sportlern erzielt werden. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Leistungsverbesserung eventuell mit der verbesserten inspiratorischen Muskelfunktion oder deren Auswirkungen wie z.B. einer Ökonomisierung der Atmung zusammenhängt. Darüber hinaus gibt es noch keine gute Erklärung wie ein Atemmuskeltraining die Leistung verbessern kann. Um diese Zusammenhänge genauer untersu-

chen zu können wurde für die vorliegende Studie das inspiratorische Muskeltraining in Form des inspiratory pressure threshold loading ausgewählt.

Vorteile des inspiratory pressure threshold loading gegenüber dem inspiratory flow restive loading sind die quantifizierbare Belastung und die Unabhängigkeit von der inspiratorischen Flussgeschwindigkeit. Weiterhin sind die Übungsgeräte handlich und preiswert in ihrer Anschaffung. So eignet sich diese Methode sehr gut für den alltäglichen Gebrauch. Im folgenden Text wird diese mit IMT abgekürzt.

Analog zu dieser Studie erfolgten einige frühere wissenschaftlichen Arbeiten zum IMT ebenfalls mit Geräten der Firma POWERbreathe®, HaB International Ltdl (Warwickshire, United Kingdom) (Edwards und Cooke, 2004; Edwards et al., 2008; Hart et al., 2001; Johnson et al., 2007; Kilding et al., 2010; Volianitits et al., 2001). Bei den Arbeiten von Edwards et al. (2008), Edwards und Cook (2004) und Johnson et al. (2007) betrug die Trainingsphase jeweils 4 Wochen bei einmal täglich 30 Atemzügen, bei Hart et al. sowie Kilding et al. 6 Wochen bei zweimal täglich 30 Atemzügen. Lediglich Volianitis et al. (2001) wählte eine deutlich längere Trainingsphase von 11 Wochen bei zweimal täglich 30 Atemzügen. Der Trainingswiderstand lag in allen Studien bei entweder dem Widerstandsniveau, mit dem gerade noch die Anzahl der vorgeschriebenen Atemzüge bewältigt werden konnte, oder bei 50% des PI_{max} (Kilding et al., 2010). Die meisten der genannten Studien arbeiteten mit Kontrollgruppen, die auf dem niedrigsten bzw. auf einem sehr niedrigen Widerstandsniveau (15% des PI_{max}) (Kilding et al., 2010, Volianitis et al., 2001) der Atemtrainer trainierten. Johnson et al. (2007) ließ die Kontrollgruppe mit einem sham hypoxic trainer jeweils 15 Minuten 5 Tage die Woche trainieren. Da sich in den früheren Studien die gute Anwendbarkeit und Durchführbarkeit des IMT mit einem Gerät der Firma POWERbreathe® erwiesen hat, wurde für die vorliegende Studie ein Gerät dieser Firma ausgewählt. Die Trainingsphasendauer wurde in dieser Studie auf 6 Wochen festgelegt, da der Hersteller ein Grundlagentraining von 4 bis 6 Wochen empfiehlt und eine deutliche Kräftigung der Atemmuskulatur und Verbesserung Ausdauerleistung nach dieser Zeitspanne suggeriert (POWERbreathe®).

In der vorliegenden Studie wurde ein 5000 m-Lauf zusätzlich zu dem ausbelastenden Laufbandstufentest als weiterer Ausdauerstest durchgeführt, analog zu den Studienprotokollen anderer Arbeitsgruppen (wie z.B. Edwards et al., 2008). Als Ausdauerstest wurde überwiegend in den bisherigen Studien die Zeit bis zur Erschöpfung bei einer konstanten Ausdauerleistung bei 80-85% der VO_2_{max} gewählt (wie z.B.: Edwards und Cooke, 2004; Guenette et al., 2006; Williams et al., 2002). Edwards und Cooke (2004) führten eine Studie mit körperlich aktiven Probanden durch. Die Studienleiter konnten eine signifikante Verbesserung bei einer Laufbelastung bis zur Erschöpfung in der Trainings- und Kontrollgruppe feststellen. Die Verbesserung der Trainingsgruppe war signifikant höher als die der Kontrollgruppe. Williams et al. (2002) konnte keine Verbesserung im Dauerbelastungslauftest feststellen. Es wurde in beiden Studien keine Ausdauerbelastung mit festem Endpunkt („time trial“) durchgeführt. Für die vorliegende Studie wurde ein 5000 m-Lauf ausgewählt, da Jeukendrup et al. (1996) feststellten, dass Ausdauerbelastungen mit festem Endpunkt zum Testen der Ausdauerleistung verlässlicher und reproduzierbarer sind als Ausdauerleistungen bis zur Erschöpfung. Scharhag-Rosenberg et al. (2009), die die metabolischen Beanspruchung bei konstanten Ausdauerbelastungen bei einem bestimmten prozentualen Anteil der VO_2_{max} untersuchten, stellten fest, dass diese erheblich zwischen verschiedenen Athleten variiert. Somit wäre ein eventueller metabolischer Effekt des respiratorischen Trainings schwierig mit einem solchen Test zu evaluieren. Sheel (2002) zeigte in einer Übersichtsarbeit über das respiratorische Muskeltraining auf, dass die Leistungsverbesserungen wenn die Leistung mit einer Belastung mit festem Endpunkt evaluiert wurde von wesentlich geringerem Ausmaß waren als bei einem Belastungstest bis zur Erschöpfung. McConnell und Romer (2004) nehmen genau das Gegenteil an. Sie vermuten, dass die Effekte eines Atemtrainings bei einem Ausbelastungstest bis zur Erschöpfung kleiner und schwieriger zu messen seien als bei einem Test mit festen Endpunkten. Dies begründen sie damit, dass die Probanden bei einem Belastungstest mit festem Endpunkt an ihre Grenze gehen und die positiven Auswirkungen eines respiratorischen Muskeltrainings auf die Ausdauerleistung (wie z.B. durch eine verminderte Belastungsatemnot) besser wiedergeben können, in dem die Probanden schneller sind. Im Gegensatz dazu wer-

den im Stufentest oder beim Ausdauerstest bis zur Erschöpfung die Leistung nur durch eine Verlängerung der Belastung bis zu einem Punkt an dem die Energiebereitstellungssysteme ihren Endpunkt erreicht haben verbessert. Unter letztgenannter Bedingung wird ein möglicher Effekt den Autoren nach weniger zur Geltung kommen und schwieriger zu messen sein.

2008 führten Edwards et al. eine Studie nach dem gleichen IMT-Trainingsprotokoll wie Edwards und Cooke (2004) durch. Als Ausbelastungstest wurde ein 5000 m-Lauf gewählt. Die Probanden waren jedoch untrainiert und nahmen während der vierwöchigen Trainingsphase an einem kardiovaskulären Lauftraining teil. Die Verbesserung der 5000 m-Zeit in der Trainingsgruppe war im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höher.

Um einen Trainingseffekt durch ein zusätzlich durchgeführtes körperliches, eventuell neues Training zu vermeiden wurden als Probanden ambitionierte Freizeitläufer zu rekrutieren, die während der IMT-Trainingsphase ihr individuelles Lauftraining wie gewohnt fortführten. Die Probanden sollten während der Studienzeit kontinuierlich ohne Saisonhöhepunkt trainieren, was bei Leistungssportlern nicht möglich gewesen wäre.

1.5 Untersuchungsziel und Fragestellung

Grundgedanke des IMT ist es durch eine kontrollierte Verbesserung der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit der Atemmuskulatur eine Reduktion der Belastungsatemnot und eine Steigerung der atmungsbezogenen Leistungsbreite zu erreichen. Somit wäre das IMT eine preisgünstige und mit wenig Aufwand verbundene Methode um die Atemökonomie sowie die Ausdauerleistung von Sportlern zu verbessern. Aufgrund der uneinheitlichen Datenlagen gibt es keine klare Aussage zum Nutzen von IMT.

Das Untersuchungsziel der vorliegenden placebokontrollierten Studie war es die Auswirkungen eines sechswöchigen IMT bei ambitionierten Freizeitläufern zu untersuchen und somit beurteilen zu können, ob ein IMT für Langstreckenläufer zur Leistungsverbesserung führt.

Die Aufgabe sollte durch eine Prä-Post-Studie mit Kontrollgruppe gelöst werden. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem 5000 m-Lauf geschenkt, da die sportliche Leistung die höchste Relevanz für die Läufer hat. Zudem gibt es bislang keine Erklärung wie IMT zu einer Ausdauerleistungsverbesserung führen könnte. In dieser Studie wurden spiroergometrisch das Atemzugvolumen (AZV), die Atemfrequenz (AF) und das Atemminutenvolumen (AMV) während des Laufbandstufentests und dem 5000 m-Lauf erfasst, um Veränderungen im Atemmuster und eine eventuelle Ökonomisierung der Atmung nach IMT nachweisen zu können.

Folgende Hypothesen wurden zu Beginn der Studie aufgestellt:

Inspirationsmuskeltraining führt

1. Zu einer Zunahme des maximalen statischen Inspirationsdrucks (PI_{max})
2. Zu keiner Änderung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max})
3. Bei submaximaler Belastung zu einer ökonomischeren Atmung
4. Zu einer Verbesserung der 5000 m-Zeit und der maximalen Laufgeschwindigkeit (v_{max}) im Laufbandstufentest

2. Methoden

Die vorliegende Studie wurde von der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes unter der Kennnummer 114/09 genehmigt. Nach ausführlicher Aufklärung über sämtliche Studiendetails gaben alle Probanden ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme.

2.1 Studiendesign

2.1.1 Studienablauf

Bei dieser Studie handelt es sich um eine Prä-Post-Studie im Längsschnitt, die kontrolliert, stratifiziert randomisiert mit unabhängigen Stichproben durchgeführt wurde.

Der gesamte Testzeitraum erstreckte sich von August 2009 bis Mai 2010. Der Studienablauf, der in Abbildung 1 abgebildet ist, gestaltete sich wie folgt:

Jeder Proband absolvierte nach der Eingangsuntersuchung eine ausbelastende Laufbandergometrie und 2 bis 3 Tage später einen 5000 m-Lauf in einer Leichtathletikhalle. Bei beiden Lauftests wurde simultan eine Spiroergometrie durchgeführt. Anschließend wurden die Läufer in eine Verum- und eine Kontrollgruppe stratifiziert randomisiert (siehe Kapitel 3.1.6.). Nach einer sechswöchigen Trainingsphase, in denen die Probanden zusätzliche zur Intervention ihr persönliches Lauftraining wie gewohnt fortführten, fanden die Nachttests statt. Lungenfunktionsprüfungen, Laufbandstufentest und 5000 m-Lauf wurden nach dem gleichen Protokoll wie beim Eingangstest wiederholt. Für jeden Probanden fanden die verschiedenen Testformen jeweils zur gleichen Tageszeit statt, um zirkadiane Einflüsse zu verhindern.

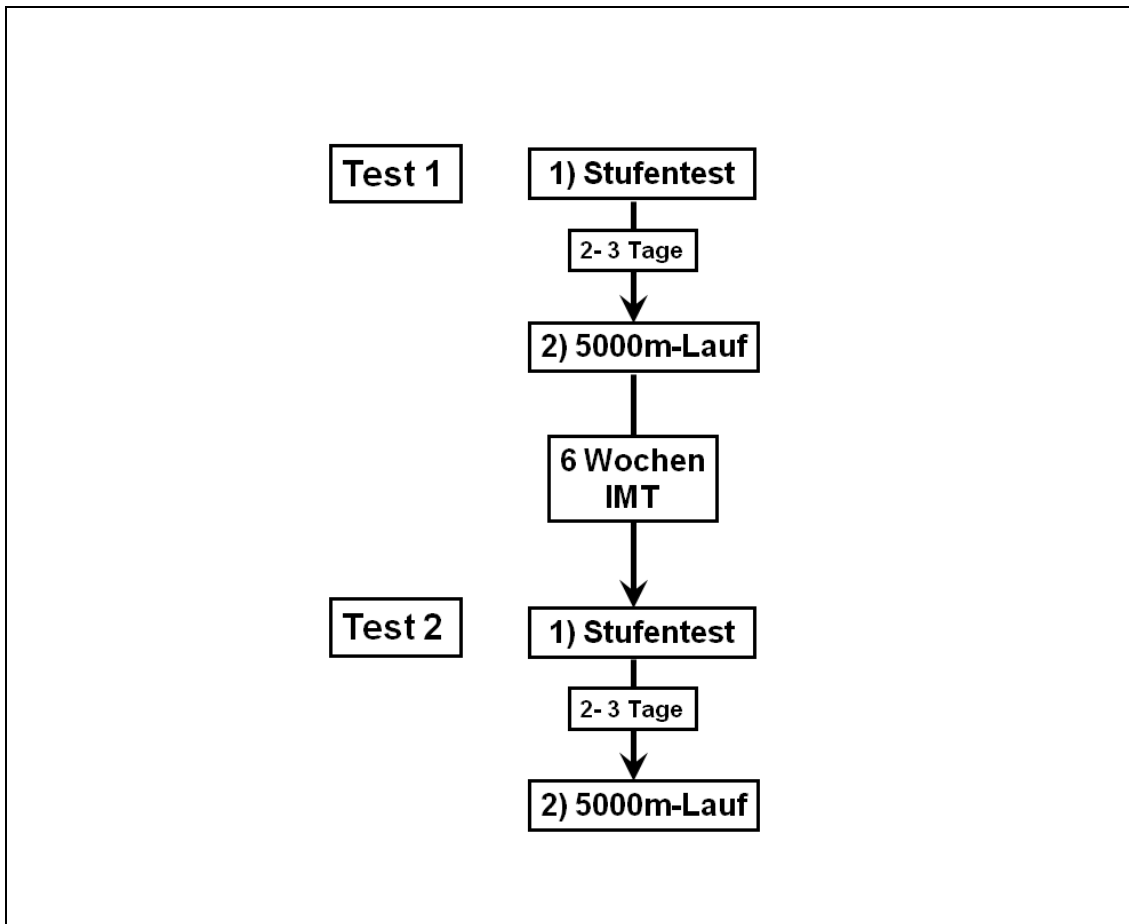


Abbildung 2: Studienverlauf Skizze

2.1.2 Probanden

Die Probanden wurden mit diversen Aushängen im Institut für Sport- und Präventivmedizin in Saarbrücken, in der Laufgemeinschaft Saarbrücken, in den Laufgruppen des Turnvereins Rehlingen, im Leichtathletik Club Rehlingen und auf der Wissenschaftswoche im Juni 2009 in Saarbrücken auf die Studie aufmerksam gemacht. In die Studie konnten 39 (33 männliche und 6 weibliche) ambitionierte Freizeitläufer eingeschlossen werden. Die Probanden sollten mindestens eine der folgenden Zeiten auf der entsprechenden Distanz in der letzten Saison unterboten haben: 5 km unter 20 min, 10 km unter 45 min, Halbmarathon (21,0975 km) unter 1:45 h oder einen Marathon (42,195 km) unter 3:40 h.

Ausschlusskriterien waren ein aktuell oder in der Vergangenheit durchgeführtes inspiratorischen Muskeltraining (IMT), bestehende Lungenfunktionsstörungen, relevante Herzkreislauferkrankungen und eine Maximallaufleistung unter 4,20 m/s beim Laufbandstufentest.

Verletzungs- oder krankheitsbedingt schieden 9 Probanden (3 weibliche, 6 männliche) vorzeitig aus der Studie aus. Es bestand kein offensichtlicher Zusammenhang mit der Durchführung des IMT. Dadurch ergab sich eine Probandengruppe bestehend aus 3 weiblichen und 27 männlichen Teilnehmern. Tabelle 1 zeigt die anthropometrischen Daten der Probanden, die in die Studie aufgenommen wurden.

	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [m]	BMI [kg*m ⁻²]
MW ± SD	38 ± 12,4	74 ± 11	178 ± 7	23,2 ± 2,4
Min – Max	19 - 60	52 – 94	167 – 193	18,7 – 28,5

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probanden beim Eingangstest (n=39)

2.1.3 Eingangsuntersuchung

Vor dem ersten Laufbandstufentest wurde bei jedem Probanden eine Anamnese erhoben sowie eine körperliche Untersuchung und eine Messung anthropometrischer Größen durchgeführt. Zusätzlich füllten die Teilnehmer den für die Studie entworfenen Probandenfragebogen (siehe Anhang A) aus. Anschließend wurde ein 12-Kanal-EKG abgeleitet (Gerät der Firma custo med GmbH). Ein unauffälliges Ruhe-EKG schließt kardiovaskuläre Erkrankungen mit hoher Wahrscheinlichkeit aus (Pelliccia et al., 2000). Es folgte eine Ganzkörperplethysmographie und die Messung des maximalen statischen Inspirationsdruck (PI_{max}) („Master Screen Body“ der Firma Erich JAEGER GmbH, Höchberg). Bei allen Probanden erfolgte ein Studieneinschluss ohne medizinische Bedenken.

2.1.4 Laufbandstufentest

Die Laufbandergometrie fand auf einem Laufbandergometer „ELG 70“ der Firma Woodway GmbH (Weil am Rhein) statt (siehe Abb.2). Das Laufband wird durch einen bürstenlosen Synchron-Servomotor auf eine Geschwindigkeit bis zu 40 km/h beschleunigt und kann über einen DC-Motor mit 300 Watt auf eine Steigung von 30% angehoben werden (Woodway, 2008). Das Laufband wurde in ein Podest integriert, so dass der Läufer das Gefühl hat, auf einer ebenen Fläche zu laufen und keine Angst entsteht, herunterzufallen.



Abbildung 3: Laufband „ELG 70“

Der Laufbandtest entsprach einem symptomlimitierten Stufentest bei einer Steigung von 0,5% (festgelegt anhand der Ergebnisse einer institutsinternen biologischen Eichung) mit einer Startgeschwindigkeit von 2,5 m/s. Dabei wurde jede Stufe bei konstanter Geschwindigkeit 3 Minuten durchlaufen. Von Stufe zu Stufe wurde die Geschwindigkeit um 0,5 m/s gesteigert. Im Anschluss an jede Stufe folgte eine dreißigsekündiger Pause, die zur kapillären Blutentnahme am hyperämisierten Ohrläppchen und zum Notieren der Herzfrequenz genutzt wurde. Die Intervalle wurden fortgeführt bis zur subjektiven Ausbelastung des Probanden. Abbruchkriterien waren Angina pectoris, zunehmende erhebliche Dyspnoe oder Schwindel (Kindermann, 1987).

2.1.5 5000 m-Lauftest

Die 5000 m-Tests fanden in der Leichtathletikhalle der Hermann-Neuberger-Sportschule Saarbrücken auf einer 200 m-Tartanrundbahn statt. Da die Halle beheizt ist, hatten alle Läufer stets vergleichbare Untersuchungsbedingungen.

2.1.6 Randomisierung

Die 39 in die Studie aufgenommenen Probanden wurden anhand der Kriterien Alter (über oder unter 40 Jahren) und $sVO_{2\text{ max}}$ (größer oder kleiner 60 ml/min/kg) auf die Verum- und Kontrollgruppe aufgeteilt (siehe Abb.3). Aufgrund der genannten verletzungs- und krankheitsbedingten Ausfälle (siehe Kapitel 3.1.1) durchliefen 15 Probanden der Verumgruppe und 15 Probanden der Kontrollgruppe sowohl den Eingangs- als auch den Nachtest.

Verumgruppe (n=15, m=12, w=3)

	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI
MW \pm SD	42 \pm 11	73 \pm 12	176 \pm 6	23,3 \pm 2,9
Min – Max	26 – 60	55 – 91	169 – 193	18,7 – 28,5

Kontrollgruppe (n=15, m=15, w=0)

	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI
MW \pm SD	35 \pm 14	76 \pm 9	181 \pm 7	23,2 \pm 1,7
Min – Max	19 – 60	59 – 94	167 – 189	21,1 – 26,7

Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Verum- und Kontrollgruppe

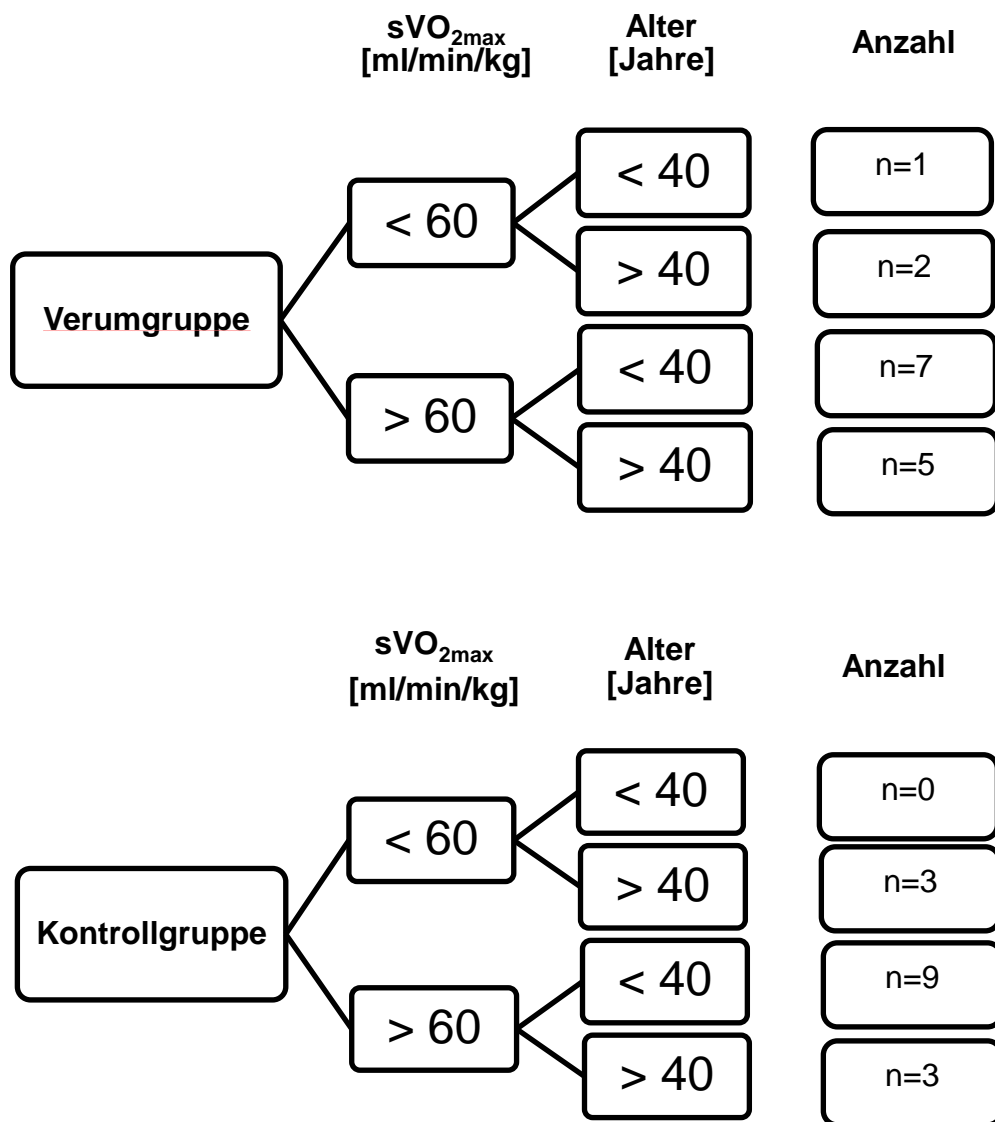


Abbildung 4: Stratifizierte Randomisierung der Probanden

Das Ungleichgewicht in der Verteilung der Probanden auf die Gruppen und der dadurch bedingte relativ große Altersunterschied, ist eine Folge der krankheits- und verletzungsbedingt ausgeschiedenen 9 Probanden, die in den Abbildungen und Tabellen nicht berücksichtigt werden.

	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI
MW ± SD	32 ± 11	69 ± 9	174 ± 4	22,5 ± 2,7
Min – Max	21 – 53	52 – 80	166 – 180	18,9 – 26,7

Tabelle 3: Anthropometrische Daten der Dropouts

2.1.7 Trainingsphase

Die Trainingsphase dauerte 6 Wochen. In dieser Zeit sollten alle Probanden zusätzlich zu ihrem normalen individuellen Lauftraining, das nicht durch die Studie beeinflusst wurde, täglich einmal 50 Atemzüge mit dem Gerät „POWERbreathe® Heavy Resistance (Sports)“ der Firma POWERbreathe®, HaB International Ltdl (Warwickshire, United Kingdom) (siehe Abb.4) durchführen. Dieses Gerät wurde für ambitionierte Sportler entwickelt. Es basiert auf einem flussunabhängigen Widerstand, der die Inspiration erschwert (pressure threshold loading). Die Probanden müssen einen erhöhten Inspirationsdruck aufbringen, um diesen variablen Widerstand zu überwinden. Es sind 9 unterschiedliche Belastungsniveaus wählbar.

Beide Gruppen begannen mit dem geringsten Widerstand („Niveau eins“). Die Verumgruppe steigerte, sobald sie 50 Atemzüge am Stück gut bewältigen konnte, das Niveau um ¼-Drehung. Falls dieses Niveau wieder gut zu bewältigen war wurde das Niveau wieder um ¼-Drehung erhöht usw. Dies wurde so oft wiederholt, bis eine individuelle Niveaugrenze erreicht wurde. Die Kontrollgruppe trainierte durchgehend auf dem geringstmöglichen Niveau („Niveau eins“). Um die ordnungsgemäße Durchführung des IMT zu gewährleisten wurden die Probanden in die Benutzung eingewiesen und erhielten eine schriftliche Anleitung (siehe Anhang B). Darüber hinaus wurde den Probanden ein Trainingsprotokoll (siehe Anhang C) ausgehändigt, mit dessen Hilfe das Lauf- und Atemmuskeltraining dokumentiert wurde.



Abbildung 5: „POWERbreathe® Heavy Resistance (Sports)“

2.2 Messmethodik und Ermittlung der Parameter

2.2.1 Laufbandstufentest und 5000 m-Lauftest

Beim Laufbandstufentest wurde das Ergometrieprotokoll des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes in Saarbrücken (siehe Anhang D) verwendet. In dieses wurden die Herzfrequenz am Ende jeder Stufe sowie die Abbruchherzfrequenz eingetragen. Es wurde als Belastungsprotokoll ein Stufenprotokoll mit dreiminütiger Stufendauer und dreißigsekündiger Pause gewählt. Diese Stufendauer ist geeignet für die Messung von Laktat, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme und wird folglich häufig zur Trainingssteuerung und Leistungsdiagnostik angewandt (Stegmann et al., 1981; Urhausen et al., 1993).

Die maximale Laufgeschwindigkeit (v_{\max}) während des Laufbandstufentests wurde interpoliert, indem die durchgehende Laufzeit auf der maximal erreichten Stufe durch die Gesamtstufendauer (3 min) dividiert, mit der Ge-

schwindigkeitserhöhung (0,5 m/s) multipliziert und zur Laufgeschwindigkeit der vorigen Stufe addiert wurde.

Während des 5000 m-Laufes erfolgte eine reine Laufzeiterfassung ohne Herzfrequenzmessung.

2.2.2 Spiroergometrie

Die Spiroergometrie ist eine nicht-invasive Methode zur Messung von Atemgasparametern wie Atemzugvolumen (AMV), Atemfrequenz (AF) oder Sauerstoffaufnahme. Die $VO_{2\text{ max}}$ wird als Index für die aerobe Ausdauer und die maximale kardiopulmonare Funktion verwendet (Astorino, 2009).

Für die Spiroergometrie beim Laufbandstufentest und während des 5000 m-Laufs wurde das Gerät „Metamax II“ der Firma Cortex Biophysik GmbH (Leipzig) verwendet (siehe Abb.6). Das System arbeitet mit einem Mischkammerverfahren. Alle 10 Sekunden wird die in der Mischkammer gesammelte Luft gemessen. Die Messung erfolgt über Gas-Sensoren, die die O_2 - und CO_2 -Konzentrationen messen (O_2 : Zirkoniumzelle; CO_2 : Infrarotmethode), und einen Triple-V-Volumensensor, der anhand der Triple-V-Turbinen-Umdrehungen die Atemvolumina bestimmen kann. Diese Turbine befindet sich an der Öffnung der Hans-Rudolph-Gesichtsmaske. Die Maske bedeckt Mund und Nase des Probanden und wurde individuell angepasst, so dass sie luftdicht abschließt. Das Gerät wurde an die Maske angeschlossen und vor jedem Testtag nach den Angaben des Herstellers neu kalibriert. Dabei wurde der Volumensensor manuell mit einer 3-Liter-Pumpe kalibriert. Die Gassensorkalibration erfolgte durch eine 2-Punkt-Kalibration mit Umgebungsluft und Eichgas (CO_2 -Konzentration: 5,01 Vol%, O_2 -Konzentration: 12,00 Vol%). Vor Beginn jedes Tests wurde eine Raumluftmessung von mindestens 3 Minuten bis zur Konstanz der Werte durchgeführt. Anhand der Differenz zu den vor dem Test gemessenen Umgebungsluftkonzentrationen der beiden Gase, sowie des Ventilationsvolumen kann die VO_2 und VCO_2 errechnet werden. Zeitgleich mit der Messung der O_2 - und CO_2 -Konzentrationen erfolgte eine Bestimmung der Temperatur- und Luftdruckverhältnisse, um die gewonnenen Werte für VO_2 und VCO_2 auf standardisierte Normwerte (STDP-Bedingungen) umzurechnen. Während das Spiroergometriegerät beim Lauf-

bandstufentest am horizontalen Gestänge des Laufbandes befestigt wurde, fixierte der Testleiter es beim 5000 m-Lauf durch elastische Gurte des Befestigungssystem „SnipSnap“ auf dem Rücken der Probanden wie einen Rucksack. Das Gesamtgewicht, welches der Proband tragen musste, betrug 1,5 kg. Des Weiteren wurde vor der Mundöffnung der Maske eine Kappe aufgesetzt, die verhindert, dass die Messungen der Atemvolumina durch den beim Laufen entstehenden Luftwiderstand verfälscht werden. Insbesondere wichtig ist dies für die Lichteinflüsse die auf das optische System des Triple-V-Sensors wirken.

Die Messung begann bei allen Tests einige Minuten vor der Belastung, um dem Probanden und dem Gerät eine ausreichende Anpassungszeit zu gewährleisten. Die gespeicherten Daten wurden auf einen Computer mit dem Programm „MetaMax Capture“ (Version 3.511) übertragen und mit dem Programm „Metamax Analyse“ (Version 3.500) ausgewertet.



Abbildung 6: „Metamax II“ mit Zubehör

2.2.3 Laktatbestimmung

Die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration hat in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik eine besondere Bedeutung. Sie wird als Indikator für die metabolische Beanspruchung des Organismus während der körperlichen Belastung genutzt (Faude und Meyer, 2008), ebenso als Ausbelastungskriterium (Meyer et al., 2005).

Während des Laufbandstufentests wurde den Probanden am Ende jeder Stufe, bei Abbruch der Belastung sowie 1, 3, 5, 7 und 10 Minuten nach Belastungsabbruch in der Erholungsphase je 20 µl Kapillarblut aus dem mit Finalgon® forte hyperämisierten und mit Desinfektionsmittel gereinigten Ohrläppchen entnommen. Hierbei wurde eine end-to-end-Einmal-Kapillare der Firma Hirschmann Laborgeräte (Eberstadt) verwendet. Anschließend wurde die mit Blut gefüllte Kapillare in ein mit 1 ml Hämolyselösung gefülltes Gefäß der Firma Diasys (Holzheim) gegeben und der Inhalt durch Schütteln gut vermengt. Es wurde darauf geachtet, dass in die Kapillare bei der Blutentnahme kein Schweiß gelangte, da dieser höhere Laktatkonzentrationen im Vergleich zum kapillären Blut enthalten kann (Faude und Meyer, 2008). Die Entnahme erfolgte ausschließlich durch den Testleiter, so dass Schwankungen durch verschiedene Entnahmepersonen vermieden wurden. Alle Blutproben wurden durch das Labor des Instituts zeitnah mit dem Gerät „Super GL“ der Firma HITADO Diagnostic Systems (Möhnesee) analysiert. Anhand der bestimmten Laktatkonzentration in mmol/l und mit Hilfe des Computerprogramms „Ergometrie (Berechnung und Darstellung von Laktatschwellen)“ von Heck (Bochum) erfolgte die Auswertung blind durch erfahrene Institutsmitarbeiter. Bei dieser Auswertung wurde die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) nach Stegmann et al. (1981) bestimmt. Mit dieser Methode wird die Belastung abgeschätzt, an dem sich Laktatproduktion und -elimination gerade noch die Waage halten, der sogenannte „maximalen Laktat Steady State“. Dabei wird nicht nur der Laktatanstieg während der Belastung, sondern auch die Kinetik des Laktatabbaus in der Nachbelastungsphase berücksichtigt. Beim 5000 m-Lauf wurde keine Laktatbestimmung vorgenommen.

2.2.4 Anthropometrische Daten

Größe und Gewicht wurden mit Messlatte und Wasserwaage bzw. mit derselben Personenwaage vorgenommen. Die Body-Mass-Index-Berechnung erfolgte über folgende Formel:

$$\text{BMI} = \text{Körpergewicht [kg]} / \text{Körpergröße [m]}^2$$

2.2.5 Herzfrequenz

Die Erfassung der Herzfrequenz erfolgte bei den Laufbandbelastungen mit einem Herzfrequenzmesser („Pulsuhr“) der Firma Polar Electro (Finnland) Model „S 610“ und Brustgurt. Es wurde jeweils die Ruheherzfrequenz, die Herzfrequenz am Ende einer durchlaufenen Stufe und die Abbruchherzfrequenz notiert.

2.2.6 Statistik

Für die statistische Auswertung wurde die Statistiksoftware „STATISTICA 6“ für Windows der Firma StatSoft (Europe) GmbH (Hamburg) verwendet.

Zur Berechnung der $s\text{VO}_{2\text{ max}}$, des AMV_{max} , der AF_{max} und des AZV_{max} im Laufbandstufentest wurde jeweils der Mittelwert der 4 höchsten Messwerte während des Tests herangezogen. Die $s\text{VO}_2$, das AMV, die AF und das AZV der einzelnen Geschwindigkeitsstufen des Laufbandstufentests wurden ermittelt, indem jeweils der Mittelwert der drei höchsten aufeinander folgenden Messwerte jeder Stufe errechnet wurde. Aufgrund der Messverzögerung durch die Mischkammer durfte der letzte Wert bereits in der Nachbelastungszeit liegen. Die Durchschnittswerte für die $s\text{VO}_2$, das AMV, die AF und das AZV im 5000 m-Laufes wurden aus den Werten, die zwischen der 5. und der 15. Minute des Laufes aufgezeichnet wurden, gemittelt. Diese Zeitspanne wurde gewählt, da angenommen wurde, dass nach 5 Minuten ein Steady State erreicht ist und die Laufgeschwindigkeit im oben genannten Zeitraum am konstantesten ist.

Alle Daten wurden zunächst mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung getestet. Mittelwertunterschiede wurden mit einer 2x2-Varianzanalyse mit Messwiederholung verglichen (ANOVA; 2 Faktoren:

Gruppe; Test (Messzeitpunkt); jeweils zweifach gestuft (Verum- vs. Kontrollgruppe und Test 1 vs. Test 2)). War das Ergebnis signifikant, wurde post hoc der Scheffé-Test angewendet, um Intragruppenvergleiche darzulegen.

Um die Befragung der beiden Probandengruppen miteinander zu vergleichen wurde der Chi-Quadrat-Test angewandt.

Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Die Signifikanzschranken (ss) wurden für alle Tests wie folgt festgelegt:

$p > 0,1$	nicht signifikant	[-]
$0,1 > p \geq 0,05$	tendenziell signifikant	[(*)]
$p < 0,05$	signifikant	[*]
$p < 0,01$	sehr signifikant	[**]
$p < 0,001$	hochsignifikant	[***]

Von der Gleichheit zweier Mittelwerte wird bei $p > 0,2$ ausgegangen.

Die Ergebnisse der Parameter werden graphisch als Mittelwerte mit Standardabweichung dargestellt.

3. Ergebnisse

Aufgrund terminlicher und technischer Probleme liegen nicht von allen Probanden alle Parameter vor.

Der Eingangstest wird im folgenden Text als Test 1 und der Nachtest nach der Trainingsphase als Test 2 bezeichnet.

3.1 Dropouts

Von den 39 in die Studie aufgenommen Probanden schieden 9 Probanden vorzeitig aus. Hierbei handelte es sich um 3 weibliche und 6 männliche Teilnehmer. Ursachen waren Verletzungen (4), Krankheit (3) oder berufliche Gründe (2). Daraus ergibt sich eine Dropout-Quote von 23%.

3.2 Ausgangsparameter der beiden Gruppen

Verumgruppe (n=15, m=12, w=3)

	sVO_{2max} [ml/min/kg]	PI_{max} [kPa]	5000m-Zeit [Sek]	IAS [m/s]
MW ± SD	64,2 ± 7,5	11,9 ± 2,8	1264 ± 91	3,59 ± 0,2
Min – Max	52,2 – 82,2	6,6 – 17,1	1067 – 1387	3,3 – 4,0

Kontrollgruppe (n=15, m=15)

	sVO_{2max} [ml/min/kg]	PI_{max} [kPa]	5000m-Zeit [Sek]	IAS [m/s]
MW ± SD	64,4 ± 8,8	9,6 ± 3,2	1234 ± 131	3,75 ± 0,4
Min – Max	49,4 – 79,2	6,5 – 13,9	1039 – 1391	3,3 – 4,5

Tabelle 4: Ausgangsparameter Verum- und Kontrollgruppe

3.3 Compliance

Als Grundlage für die Berechnung der Compliance dienten die Trainingsprotokolle, die von den Probanden während der Trainingsphase ausgefüllt wurden. Für jeden Teilnehmer wurden die durchschnittliche Anzahl der IMT-Trainingseinheiten pro Woche berechnet. Aus diesen Werten wurden die Mittelwerte für die einzelnen Gruppen und für die Gesamtheit der Probanden ermittelt. Tabelle 4 stellt diese dar.

Gruppe	Verumgruppe (n=15)	Placebogruppe (n=15)	Gesamt (n=30)
IMT-Einheiten pro Woche \pm SD	6,2 \pm 0,6	6,1 \pm 0,7	6,2 \pm 0,6

Tabelle 5: Durchschnittliche IMT-Einheiten pro Woche \pm Standardabweichung

3.4 Erreichtes Widerstandsniveau beim IMT

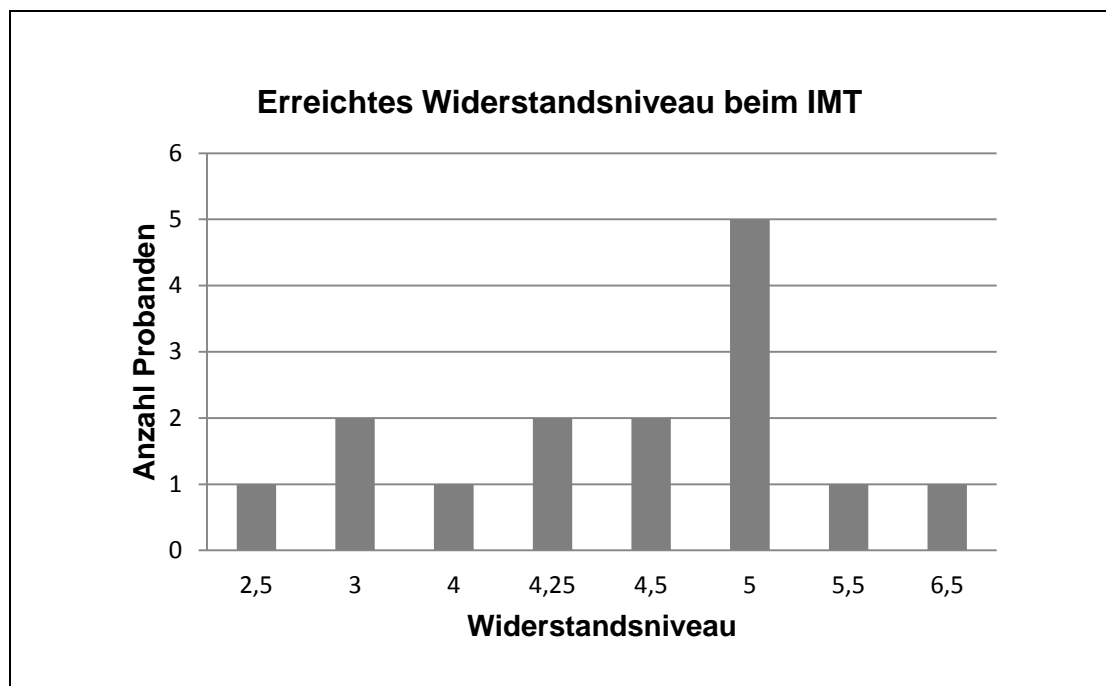


Abbildung 7: Erreichtes Widerstandsniveau beim IMT (n=15)

In Abbildung 7 sind auf der Abszissenachse die Widerstandsniveaus aufgetragen, die in Folge der Erhöhung des Ausgangswiderstandsniveaus durch wiederholte $\frac{1}{4}$ -Drehung des Widerstandsreglers seitens der Probanden der

Verumgruppe erreicht wurden (siehe Kapitel 3.1.7). An Hand der Ordinatenachse lässt sich erkennen wie viele Probanden das jeweilige Widerstandsniveau erreicht haben. Im Durchschnitt erreichten die Probanden ein Widerstandsniveau von $4,5 (\pm 1)$.

3.5 Indikatoren der Leistungsfähigkeit

3.5.1 5000 m-Lauf

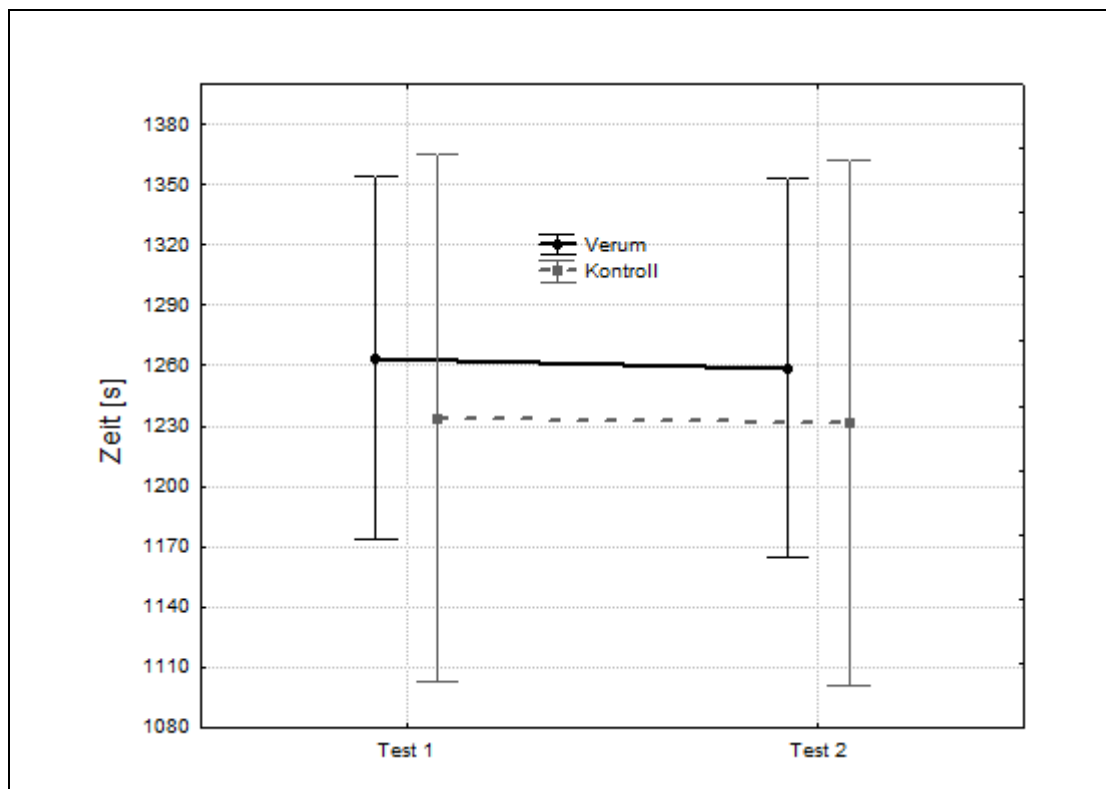


Abbildung 8: Veränderung der 5000 m-Zeit Test 1 und Test 2, Verum- (n=15) und Kontrollgruppe (n=14) Mittelwerte \pm Standardabweichung

Abbildung 8 zeigt die Veränderung der 5000 m-Zeiten. Es ergab sich für die 5000 m-Zeit keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen ($F=0,06$; $p=0,81$). Der Faktor Gruppe zeigte keine Signifikanz ($F=0,48$; $p=0,49$) sowie der Faktor Test ($F=0,57$; $p=0,46$). Die Verumgruppe verbesserte sich von 1263,9 sec ($\pm 90,5$ sec) auf 1258,8 sec ($\pm 93,9$ sec), die Kontrollgruppe von 1233,9 sec ($\pm 131,6$ sec) auf 1231,4 sec ($\pm 130,3$ sec).

3.5.2 Individuelle anaerobe Schwelle (IAS)

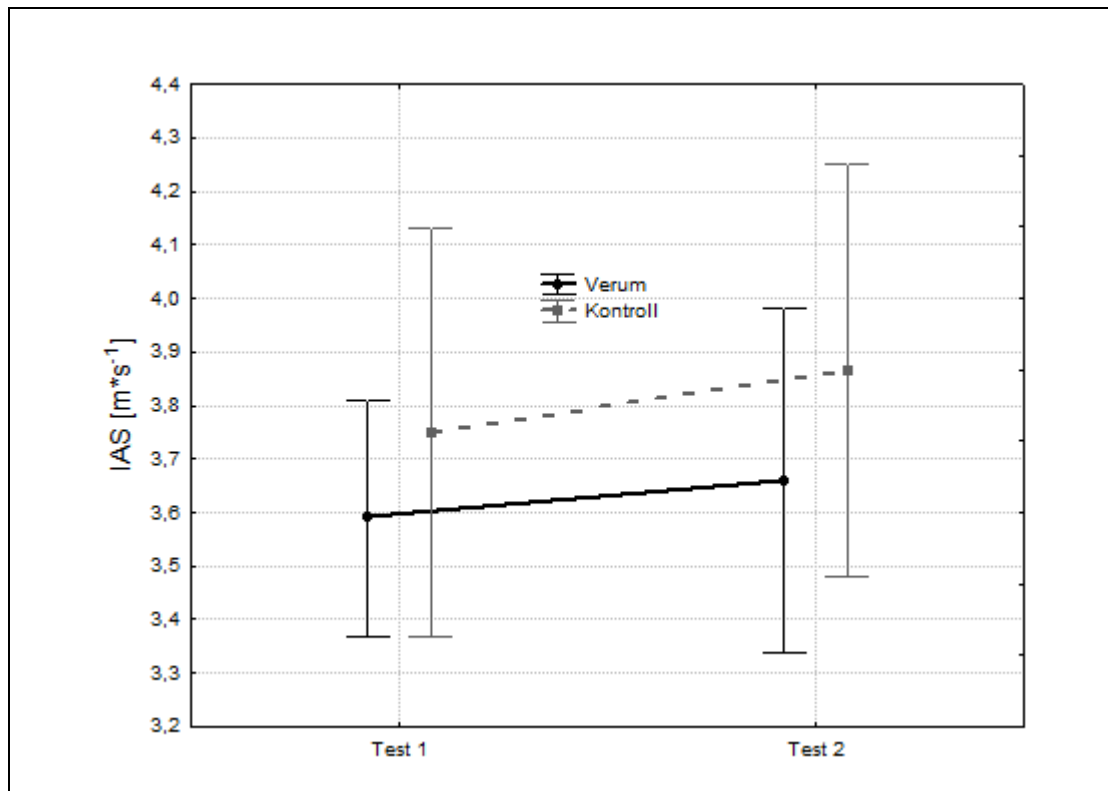


Abbildung 9: Veränderung der IAS Test 1 und Test 2, Verum- (n=14) und Kontrollgruppe (n=14), Mittelwerte \pm Standardabweichung

Die Individuelle Anaerobe Schwelle (IAS) erhöhte sich in der Verumgruppe von 3,59 m/s (\pm 0,22 m/s) auf 3,66 m/s (\pm 0,32 m/s), in der Kontrollgruppe von anfänglichen 3,75 m/s (\pm 0,38 m/s) auf 3,86 m/s (\pm 0,38 m/s). Es ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen ($F=0,61$; $p=0,44$). Der Faktor Gruppe zeigte keine Signifikanz ($F=2,20$; $p=0,15$) im Gegensatz zum Faktor Test ($F=0,11$; $p=0,01$).

3.5.3 Maximale Laufgeschwindigkeit (v_{\max}) und maximale spezifische Sauerstoffaufnahme ($sVO_{2\max}$) im Laufbandstufentest

Gruppe	$sVO_{2\max}$		v_{\max}	
	Verum [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹] n=13	Kontroll [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹] n=6	Verum [m*sec ⁻¹] n=14	Kontroll [m*sec ⁻¹] n=7
Test 1	64,4	64,2	4,6	4,8
±SD	± 7,8	± 11,7	± 0,1	± 0,6
Test 2	64,4	63,8	4,6	4,8
±SD	± 8,0 l	± 11,1	± 0,3	± 0,7
Interaktion der Gruppen				
p-Wert	0,93		0,08	
F-Wert	0,01		3,41	
Faktor Gruppe				
p-Wert	0,93		0,37	
F-Wert	0,01		0,85	
Faktor Test				
p-Wert	0,91		0,60	
F-Wert	0,01		0,29	

Tabelle 6: Veränderung der $VO_{2\max}$ und v_{\max} Test 1 und 2, Verum- und Kontrollgruppe, Mittelwerte ± Standardabweichung

In die Tabelle flossen nur die Werte derjenigen Probanden ein, die im Laufbandstufentest mindestens 2 der 3 Ausbelastungskriterien erfüllten. Als Ausbelastungskriterien wurden eine maximale Laktatkonzentration $\geq 8,00$ mmol/l, eine maximale Herzfrequenz ≥ 220 -Lebensalter und ein Respiratorischer Quotient $\geq 1,1$ festgelegt.

Die maximale Herzfrequenz (HF_{\max}) lag vor und nach der Intervention auf demselben Niveau. Trainingsgruppe: Test 1: 182 min^{-1} ($\pm 10 \text{ min}^{-1}$); Test 2: 183 min^{-1} ($\pm 13 \text{ min}^{-1}$); Kontrollgruppe: Test 1: 181 min^{-1} ($\pm 11 \text{ min}^{-1}$);

Test 2: 179 min^{-1} ($\pm 12 \text{ min}^{-1}$). Zwischen den beiden Gruppen gab es keine signifikante Interaktion ($F=0,69$; $p=0,41$)

Aufgrund von technischen Problemen unterscheidet sich die Probandenanzahl bei $sVO_{2 \max}$ und v_{\max} .

3.5.4 Durchschnittliche spezifische Sauerstoffaufnahme im 5000 m-Lauf ($sVO_{2 \text{ 5000 m}}$)

Die durchschnittliche spezifische Sauerstoffaufnahme der Probanden im 5000 m-Lauf ($sVO_{2 \text{ 5000 m}}$) in beiden Gruppen unterlag nur kleinen Veränderungen. Die Verumgruppe zeigte eine sVO_2 in Test 1 von $56,9 \text{ ml/min/kg}$ ($\pm 8,0 \text{ ml/min/kg}$) und im Test 2 von $57,4 \text{ ml/min/kg}$ ($\pm 11,8 \text{ ml/min/kg}$). Bei der Kontrollgruppe zeigten sich Werte von $56,2 \text{ ml/min/kg}$ ($\pm 10,0 \text{ ml/min/kg}$) in Test 1 und $55,5 \text{ ml/min/kg}$ ($\pm 10,6 \text{ ml/min/kg}$) in Test 2. Es ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen ($F=0,13$; $p=0,72$) sowie für die Faktoren Gruppe ($F=0,15$; $p=0,71$) und Test ($F=0,0$; $p=0,96$).

Die $sVO_{2 \text{ 5000 m}}$ lag in der Verumgruppe im Durchschnitt bei $86,6\%$ ($\pm 7\%$) der $sVO_{2 \max}$ im Test 1 und bei $88,1\%$ ($\pm 12\%$) der $sVO_{2 \max}$ im Test 2. Die Kontrollgruppe zeigte ähnliche Werte. Hier lag die $sVO_{2 \text{ 5000 m}}$ bei $85,0\%$ ($\pm 10\%$) der $sVO_{2 \max}$ im Test 1 und bei $84,3\%$ ($\pm 12\%$) der $sVO_{2 \max}$ im Test 2.

3.6 Atemphysiologie in Ruhe

3.6.1 Maximaler statischer Inspirationsdruck (PI_{\max})

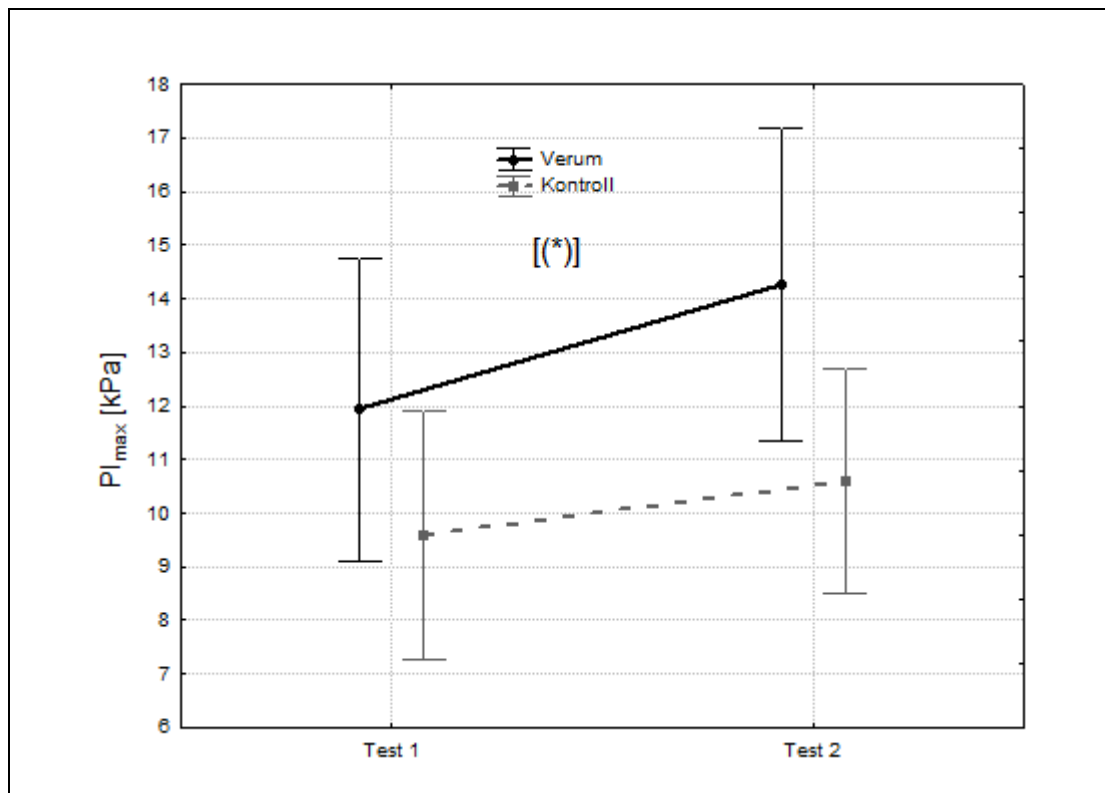


Abbildung 10: Veränderung des PI_{\max} Test 1 und Test 2, Verum- (n=15) und Kontrollgruppe (n=14), Mittelwerte \pm Standardabweichung

Der PI_{\max} der Verumgruppe veränderte sich von 11,9 kPa (\pm 2,8 kPa) auf 14,3 kPa (\pm 2,9 kPa) und der PI_{\max} der Kontrollgruppe von 9,6 kPa (\pm 2,3 kPa) auf 10,61 kPa (\pm 2,10 kPa). Zwischen den beiden Gruppen gab es eine tendenzielle Interaktion (F=3,19; p=0,085). Der Faktor Gruppe (F=11,46; p=0,00) und der Faktor Test (F=20,80; p=0,00) zeigten eine Signifikanz.

3.6.2 Forcierte Vitalkapazität (FVC) und Einsekundenkapazität (FEV1)

	FVC		FEV1	
Gruppe	Verum	Kontroll	Verum	Kontroll
Test 1	5,62 l	6,49 l	4,44 l	4,98 l
±SD	± 0,7 l	± 1,1 l	± 0,6 l	± 0,9 l
Test 2	5,59 l	6,28 l	4,52 l	4,80 l
±SD	± 0,7 l	± 0,9 l	± 0,6	± 0,7 l
Interaktion Gruppen				
p-Wert	0,41		0,23	
F-Wert	0,70		0,27	
Faktor Gruppe				
p-Wert	0,02		0,10	
F-Wert	6,29		2,85	
Faktor Test				
p-Wert	0,25		0,61	
F-Wert	1,40		0,27	

Tabelle 4: Veränderungen der FVC und FEV1 Test 1 und 2, Verum- (n=15) und Kontrollgruppe (n=14) ± Standardabweichung

3.7 Atemphysiologie im Laufbandtest

3.7.1 Maximales Atemminutenvolumen im Laufbandstufentest (AMV_{max})

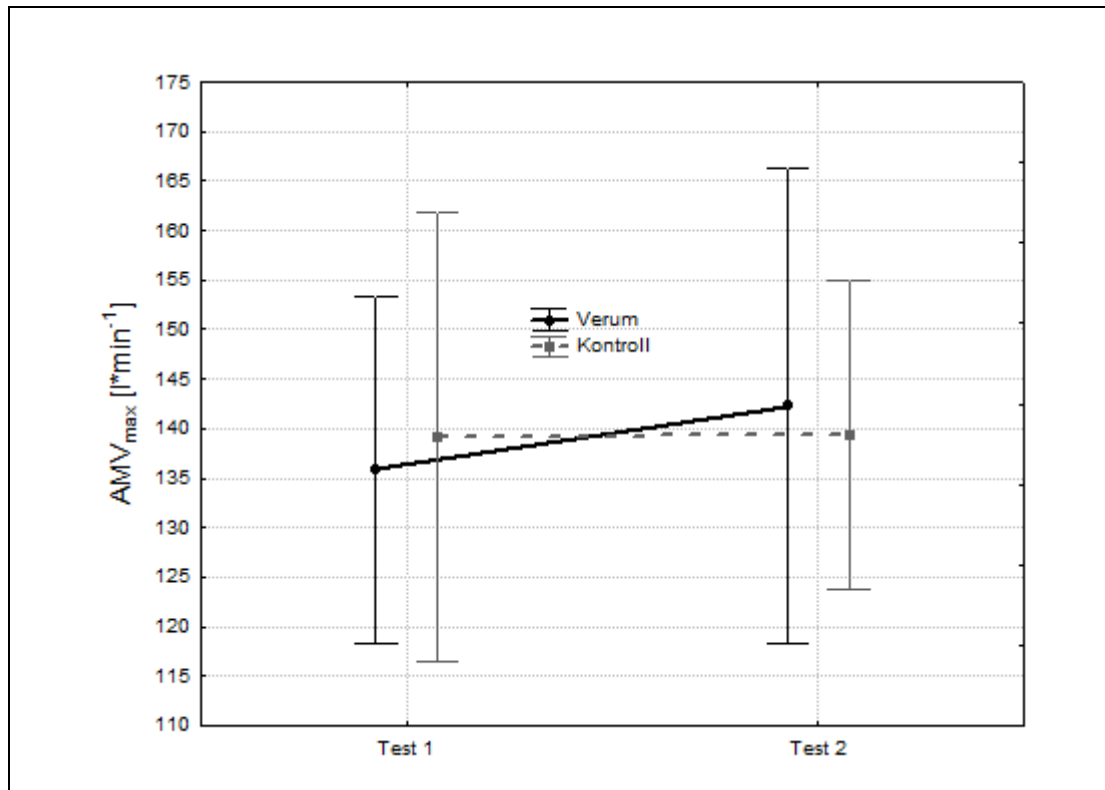


Abbildung 11: Veränderung des AMV_{max} Test 1 und Test 2, Verum- (n=14) und Kontrollgruppe (n=13), Mittelwerte ± Standardabweichung

Das maximale Atemminutenvolumen (AMV_{max}) der Verumgruppe beim Laufbandstufentest steigerte sich von Test 1 zu Test 2 von 135,9 l (± 17,6 l) auf 142,3 l (± 24,1 l). Die Kontrollgruppe wies nahezu identische Werte im Test 1 139,2 l (± 22,8 l) und Test 2 139,4 l (± 15,7 l) auf. Es gab keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen (F=1,77; p=0,2). Der Faktor Gruppe (F=0,00; p=0,98) und der Faktor Test (F=2,05; p=0,2) zeigten keine Signifikanz.

3.7.2 Maximale Atemfrequenz im Laufbandstufentest (AF_{max})

Die maximale Atemfrequenz (AF_{max}) beim Laufbandstufentest verändert sich kaum in den beiden Gruppen, somit ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen ($F=0,01$; $p=0,94$). Der Faktor Gruppe ($F=0,01$; $p=0,94$) und der Faktor Test ($F=1,12$; $p=0,3$) zeigten keine Signifikanz
Verumgruppe: Test 1: $52,64 \text{ min}^{-1}$ ($\pm 6,77 \text{ min}^{-1}$), Test 2: $53,31 \text{ min}^{-1}$ ($\pm 7,60 \text{ min}^{-1}$); Kontrollgruppe: Test 1: $52,44 \text{ min}^{-1}$ ($\pm 8,85 \text{ min}^{-1}$), Test 2: $53,03 \text{ min}^{-1}$ ($\pm 8,48 \text{ min}^{-1}$).

3.7.3 Maximales Atemzugvolumen im Laufbandstufentest (AZV_{max})

Beim maximalen Atemzugvolumen (AZV_{max}) im Laufbandstufentest gab es keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen ($F=0,48$; $p=0,5$). Die Verumgruppe erreichte $2,85 \text{ l}$ ($\pm 0,5 \text{ l}$) im Test 1 und $2,91 \text{ l}$ ($\pm 0,6 \text{ l}$) im Test 2, die Kontrollgruppe zeigte dieselben Werte in Test 1 ($2,90 \text{ l}$ ($\pm 0,3 \text{ l}$)) und Test 2 ($2,90 \text{ l}$ ($\pm 0,3$)). Der Faktor Gruppe ($F=0,02$; $p=0,89$) und der Faktor Test ($F=0,7$; $p=0,41$) zeigten keine Signifikanz.

3.8 Atemphysiologie im 5000 m-Lauf

3.8.1 Durchschnittliches Atemminutenvolumen im 5000 m-Lauf (AMV_{5000 m})

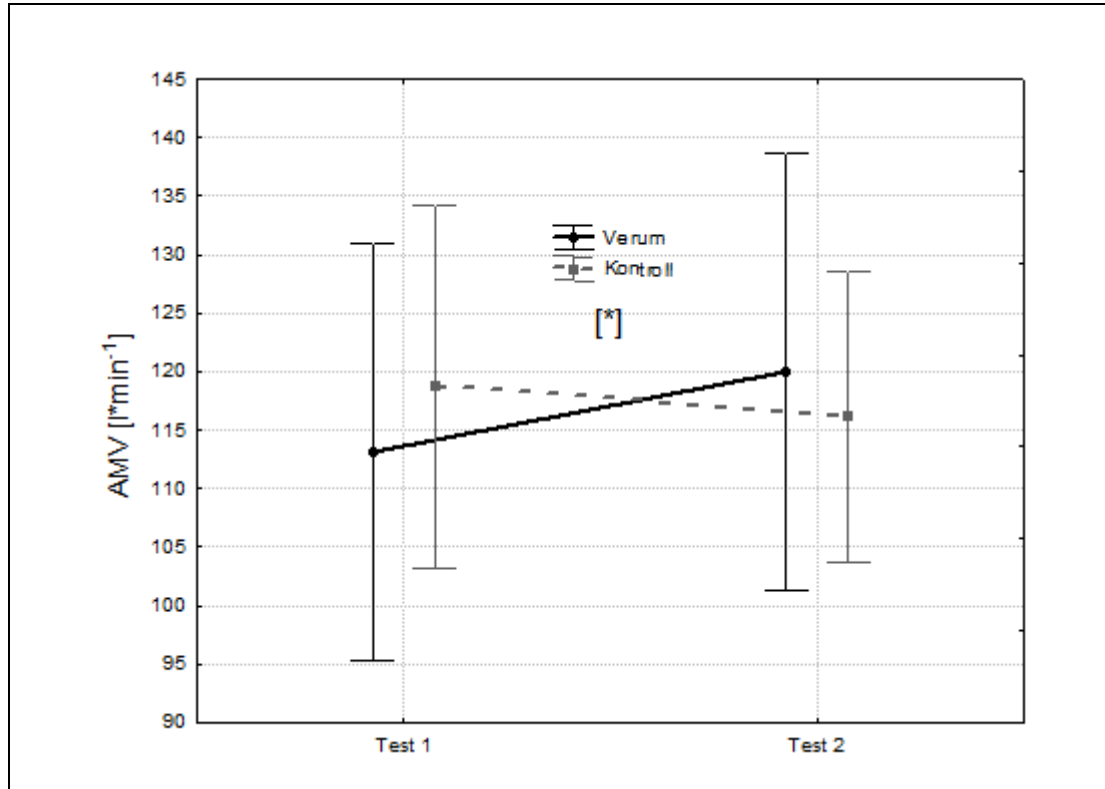


Abbildung 12: Veränderung des AMV_{5000 m} Test 1 und Test 2, Verum- (n=15) und Kontrollgruppe (n=14), Mittelwerte ± Standardabweichung

Der Unterschied der beiden Kurvenverläufe im durchschnittlichen Atemminutenvolumen im 5000 m-Lauf (AMV_{5000 m}) war signifikant (F=4,63; p=0,04). Die Intragruppenvergleiche, die mit Hilfe des Scheffé-Test post-hoc bestimmt wurden, waren nicht signifikant (Verumgruppe: p=0,19; Kontrollgruppe: p=0,88). Die Verumgruppe wies ein AMV_{5000 m} im Test 1 von 113,1 l (± 17,8 l) und 112,0 l (± 18,7 l) im Test 2 auf. Das AMV_{5000 m} der Kontrollgruppe fiel von 118,7 l (± 15,5 l) auf 116,1 l (± 12,4 l) ab. Der Faktor Gruppe (F=0,02; p=0,88) sowie der Faktor Test (F=0,96; p=0,34) wiesen keine Signifikanzen auf.

Das AMV_{5000 m} der Verumgruppe lag im Test 1 im Durchschnitt bei 83,5% (± 8,5 %) des AMV_{max} und im Test 2 bei 85,6% (± 8,7 %) des AMV_{max}. Bei der Kontrollgruppe im Test 1 bei 85,2% (± 7,8 %) des AMV_{max} und im Test 2 bei 83,6% (± 8,8 %) des AMV_{max}.

3.8.2 Durchschnittliche Atemfrequenz im 5000 m-Lauf ($AF_{5000\text{ m}}$)

Die durchschnittliche Atemfrequenz im 5000 m-Lauf ($AF_{5000\text{ m}}$) veränderte sich bei beiden Gruppen nicht und wies keine signifikante Interaktion auf ($F=1,41$; $p=0,25$). Der Faktor Gruppe zeigte keine Signifikanz ($F=0,11$; $p=0,74$) sowie der Faktor Test ($F=0,06$; $p=0,81$). Verumgruppe: Test 1: $46,2\text{ min}^{-1}$ ($\pm 9,8\text{ min}^{-1}$) Test 2: $46,9\text{ min}^{-1}$ ($\pm 7,7\text{ min}^{-1}$); Kontrollgruppe: Test 1: $46,1\text{ min}^{-1}$ ($\pm 8,0\text{ min}^{-1}$) Test 2: $45,0\text{ min}^{-1}$ ($\pm 7,5\text{ min}^{-1}$).

Die $AF_{5000\text{ m}}$ der Verumgruppe lag im Test 1 im Durchschnitt bei $88,7\%$ ($\pm 11,0\%$) des AF_{max} und im Test 2 bei $88,9\%$ ($\pm 5,0\%$) des AF_{max} . Bei der Kontrollgruppe im Test 1 bei $86,5\%$ ($\pm 5,8\%$) des AF_{max} und im Test 2 bei $83,8\%$ ($\pm 7,2\%$) des AF_{max} .

3.8.3 Durchschnittliches Atemzugvolumen im 5000 m-Lauf ($AZV_{5000\text{ m}}$)

Für das durchschnittliche Atemzugvolumen im 5000 m-Lauf ($AZV_{5000\text{ m}}$) ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Gruppen ($F=1,41$; $p=0,42$). Die Verumgruppe wies Werte von $2,52\text{ l}$ ($\pm 0,5\text{ l}$) im Test 1 und $2,60\text{ l}$ ($\pm 0,5\text{ l}$) im Test 2 auf; die Kontrollgruppe von $2,60\text{ l}$ ($\pm 0,2\text{ l}$) im Test 1 und $2,62\text{ l}$ ($\pm 0,3\text{ l}$) im Test 2. Der Faktor Gruppe zeigte keine Signifikanz ($F=0,71$; $p=0,14$) sowie der Faktor Test ($F=1,63$; $p=0,21$).

Das $AZV_{5000\text{ m}}$ der Verumgruppe lag im Test 1 im Durchschnitt bei $87,8\%$ ($\pm 7,4$) des AZV_{max} und im Test 2 bei $89,0\%$ ($\pm 9,9$) des AZV_{max} . Bei der Kontrollgruppe im Test 1 bei $91,3\%$ ($\pm 8,1$) des AZV_{max} und im Test 2 bei $91,7\%$ ($\pm 6,0$) des AZV_{max} .

3.8.4 Spiroergometrieparameter im Verlauf des 5000 m-Laufes

Gruppe	Verum (n=15)		Kontroll (n=13)	
Messzeitpunkt	Test 1	Test 2	Test 1	Test2
5. Minute:				
AMV ± SD [l*min ⁻¹]	108,0 ± 18,5	114,8 ± 20,6	113,4 ± 18,2	113,4 ± 14,75
AF ± SD [min ⁻¹]	41,3 ± 8,5	42,6 ± 7,9	41,7 ± 8,2	42,1 ± 6,9
sVO ₂ ± SD [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹]	57,5 ± 7,3	58,2 ± 10,6	56,3 ± 9,8	56,0 ± 9,4
sVCO ₂ ± SD [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹]	58,42 ± 8,3	59,9 ± 9,1	56,7 ± 9,2	57,1 ± 6,7
10. Minute:				
AMV ± SD [l*min ⁻¹]	113,3 ± 17,4	121,4 ± 20,0	117,5 ± 14,8	115,7 ± 13,0
AF ± SD [min ⁻¹]	45,8 ± 8,9	48,6 ± 10,9	46,4 ± 8,0	45,3 ± 7,4
sVO ₂ ± SD [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹]	56,6 ± 8,1	57,9 ± 12,7	56,0 ± 9,8	54,0 ± 10,0
sVCO ₂ ± SD [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹]	57,2 ± 8,8	59,8 ± 10,9	57,3 ± 7,8	55,7 ± 7,5
15. Minute:				
AMV ± SD [l*min ⁻¹]	116,0 ± 16,6	122,6 ± 19,9	120,8 ± 16,0	118,0 ± 15,0
AF ± SD [min ⁻¹]	49,9 ± 11,8	51,1 ± 10,8	48,1 ± 8,1	47,7 ± 8,9
sVO ₂ ± SD [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹]	55,6 ± 8,2	55,7 ± 12,6	55,1 ± 10,4	53,2 ± 9,7
sVCO ₂ ± SD [ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹]	57,0 ± 8,7	58,2 ± 11,5	57,0 ± 8,7	55,0 ± 8,1

Tabelle 7: AMV, AF, VO₂ und VCO₂ ± SD im Verlauf des 5000 m-Laufes

3.9 IMT-Einschätzung der Probanden

Nach Abschluss der zweiten Testphase wurden die Studienteilnehmer nach dem subjektiven Nutzen des IMT gefragt. Antwortmöglichkeiten waren „Ja“, „Vielleicht“ und „Nein“. Die Testung mit Hilfe des Chi-Quadrat-Testes zeigte einen sehr signifikanten Unterschied ($p=0,004$) zwischen der Verum- und der Kontrollgruppe. Die folgende Abbildung stellt die Angaben je nach Gruppe dar:

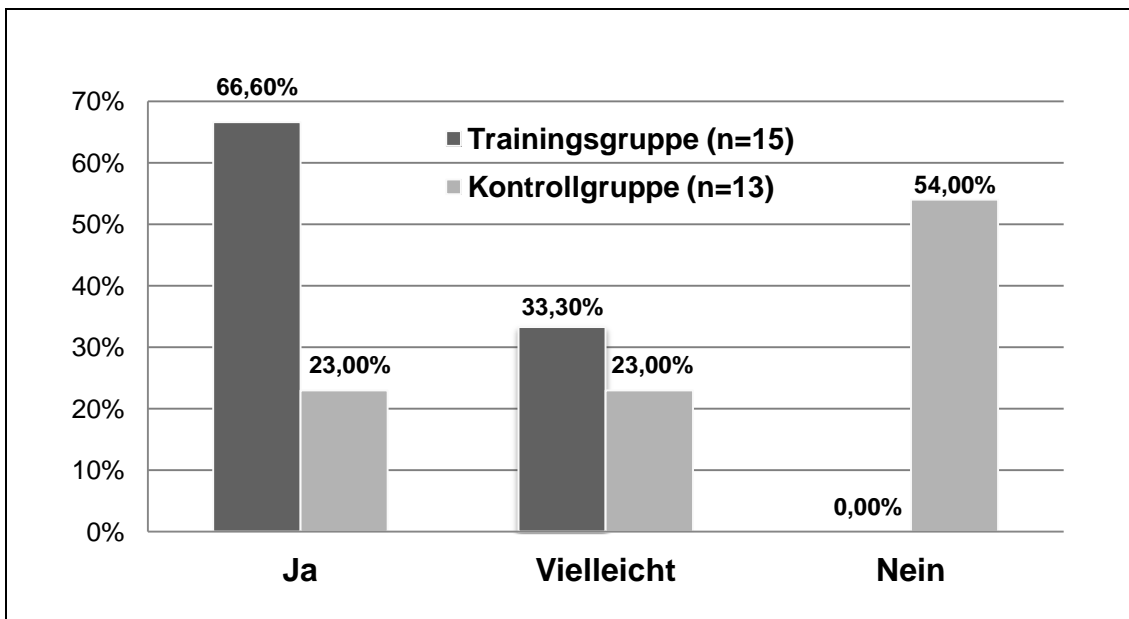


Abbildung 13: IMT-Einschätzung der Verum- und Kontrollgruppe

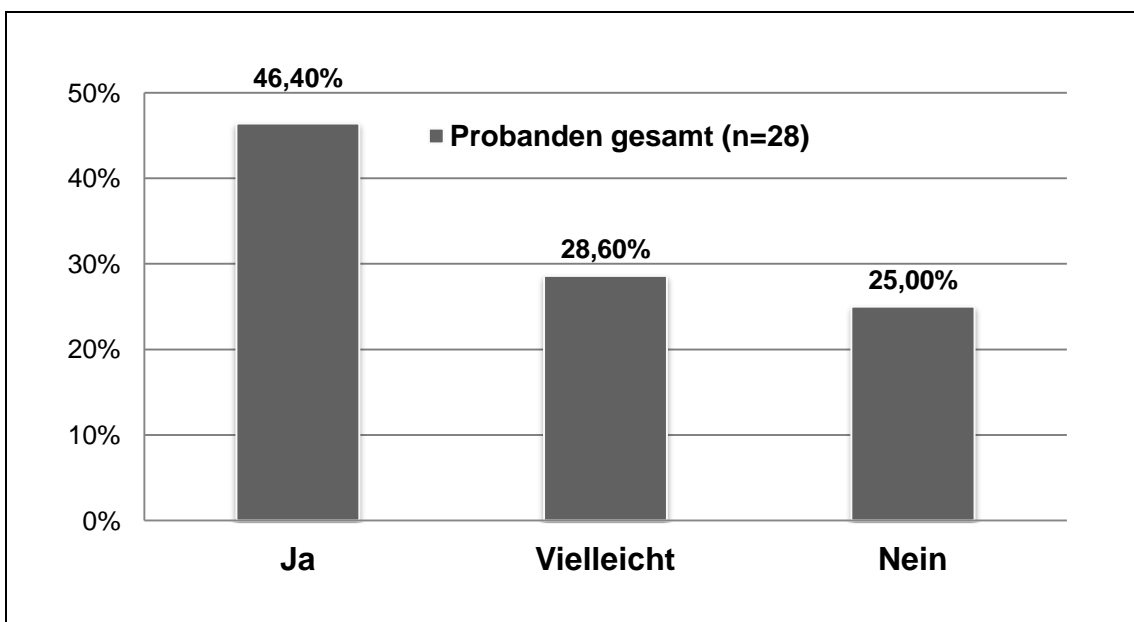


Abbildung 14: IMT-Einschätzung der Probanden gesamt

4. Diskussion

Untersuchungsziel der vorliegenden placebokontrollierten Studie war es, die Auswirkungen eines sechswöchigen IMT bei ambitionierten Freizeitläufern zu untersuchen und somit beurteilen zu können, ob ein IMT zu einer Leistungsverbesserung führt. Spiroergometrisch wurde das Atemzugvolumen (AZV), die Atemfrequenz (AF) und das Atemminutenvolumen (AMV) erfasst, um Veränderungen im Atemmuster durch ein IMT nachweisen zu können. Bislang ist die wissenschaftliche Datenlage zum inspiratorischen Muskeltraining uneinheitlich.

4.1 Diskussion Ergebnisse

4.1.1 Indikatoren der Leistungsfähigkeit

Besondere Aufmerksamkeit wurde wie auch in vorangegangenen Studien der sportlichen Leistung geschenkt, da diese die höchste Relevanz für die Läufer hat. In der vorliegenden Studie konnte keiner Verbesserung der 5000 m-Zeit nachgewiesen werden. Eine verbesserte Atemökonomie oder eine Verbesserung der Stoffwechsellage hätte diese positiv beeinflussen können. Andere Studien zeigten einen Leistungsanstieg bei gut trainierten Athleten auf. Aufgrund dieser Studienergebnisse wurde vor Beginn der Studie die Hypothese aufgestellt, dass sich die 5000 m-Zeit nach einem sechswöchigen IMT verbessern könnte. Folgende Leistungsverbesserungen konnten in diversen Studien nachgewiesen werden:

- 100 m- und 200 m-Schwimmdistanz (1,7 % bzw. 1,5 %), nicht aber über die 400 m-Schwimmdistanz (Kilding et al., 2010)
- 20 km Radfahren (3,8 % ± 1,7 %, Romer et al., 2002a)
- 25 km Radfahren (2,6 % ± 2,51 %, Johnson et al., 2007)
- 40 km Radfahren (4,6 % ± 1,9 %, Romer et al., 2002a)
- 6 min Rudern (ca. 3 %, Griffiths und McConnell, 2007; Volianitis et al., 2001)
- 5000 m-Lauf (4,3 % ± 1,6 % Edwards et al. 2008)

Williams et al. (2002) beobachteten in ihrer Studie mit 7 trainierten Collegeläufern ohne Kontrollgruppe nach vierwöchigen IMT keine Verbesserung der Ausdauerlaufzeit bei 85% der $VO_{2\text{ max}}$. Auch Downey et al. (2007) konnten keine Verbesserung in diesem Ausdauerstest bei 12 gesunden, untrainierten Probanden feststellen mit einer Kontrollgruppe die mit einem geringeren Widerstandsniveau trainierten. Bei Mickleborough et al. (2010) konnten sich 8 Freizeitläufer in der Trainingsgruppe nach IFRL um 14,1% in der Ausdauerleistung bei 80% der $VO_{2\text{ max}}$ signifikant im Vergleich mit einer Kontrollgruppe (n=8) mit sham-IFRL steigern, die kein Atemtraining praktizierte. Auch Edwards und Cooke (2004) beobachteten eine Verbesserung der Ausdauerleistung bis zur Erschöpfung bei ihrer Studie mit 18 sportlich aktiven Probanden.

Die Mehrzahl der bisherigen Studienergebnisse zeigen, dass inspiratorisches Muskeltraining sowohl einen positiven Einfluss auf Ausdauerbelastungen haben kann, wie Studien mit Zeitfahren von 6 min (Volianitis et al., 2001) bis 60 min (Rommer et al., 2002a) oder mit Open-end-Belastungen (Mickleborough et al., 2010) zeigten. Dem gegenüber sind bei Stufentests bzw. bei vorwiegend anaeroben Belastungen keine Leistungsverbesserungen zu erwarten (McConnel und Rommer, 2004). Dies spricht dafür, dass Ausdauersportler eher von einem IMT profitieren können als Sprinter. Die meisten Studien wurden mit trainierten Probanden durchgeführt. Der Vergleich der Studien mit Trainierten und Untrainierten gestaltet sich schwierig, da die Probanden nicht nach einheitlichen objektiven Kriterien eingeteilt wurden. Edwards et al. (2008) beschreibt zum Beispiel seine Probanden als untrainiert. Jedoch legten sie die 1000 m in 3:30 min und die 5000 m in 20 min zurück, sodass sie nicht gänzlich untrainiert sein konnten. Meist wurden als Probanden nur männliche Personen gewählt. Durch verletzungs- und krankheitsbedingtes Ausscheiden absolvierten nur 3 weibliche Probanden in der vorliegenden Studie Vor- und Nachtests, sodass es aufgrund der niedrigen Anzahl nicht möglich ist Aussagen über geschlechtsspezifische Unterschiede zu treffen. Weitere Studien könnten überprüfen, ob es ein unterschiedliches geschlechtsspezifisches Ansprechen auf ein Atemmuskeltraining gibt.

In der vorliegenden Studie verbesserte sich die IAS in beiden Gruppen leicht, erreichte aber keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Grup-

pen. In den bisherigen Studien ist die IAS nicht aufgeführt. In einigen Studien wurde jedoch die Blutlaktatkonzentration der Probanden bestimmt. Warum trotz dieser Bestimmung keine IAS berechnet wurde, konnte nicht erörtert werden. Einige Studien konnten einen Abfall der Blutlaktatkonzentration während der Belastung nach IFRL und IMT nachweisen (McConnell und Sharpe, 2005; Mickleborough et al., 2010). Hierzu gibt es verschiedene Erklärungsansätze. So wird vermutet, dass der Abfall durch eine höher Aufnahme und Metabolismus von Laktat durch die trainierten respiratorischen Muskeln zustande kommt (Griffiths and McConnell, 2007; Spengler et al., 1999). Oder auch, dass es zu einer Erhöhung der Schwelle für die Aktivierung des inspiratorischen Muskel-Metaboreflex kommt (Chiappa et al., 2008; McConnell und Lomax, 2006; Witt et al., 2007). Dieser soll durch eine Sympathikusaktivierung mit folgender Vasokonstriktion der Blutgefäße der Arbeitsmuskulatur zu einem reduzierten Blutfluss und somit einem reduzierten Sauerstoffangebot führen, so dass vermehrt Laktat entsteht. Die beiden oben genannten Studien konnten zu dem Laktatabfall eine Verbesserung der Ausdauerleistung in einem Lauftest bei 80% der $VO_{2\ max}$ und beim Radfahren feststellen. Diese Erklärungen könnten auch ein Anhaltspunkt dafür sein warum ein IMT die Leistung verbessern könnte.

Der Befund der unveränderten Maximalgeschwindigkeit im Laufbandstufentest (v_{max}) nach IMT stimmt mit denen von Kilding et al. (2010) beim Schwimmen und Volianitis et al. (2001) im Rudern überein und widerspricht den Beobachtungen von Romer et al. (2002a) mit trainierten Radfahrern. Hierbei handelt es sich um den Vergleich von 4 verschiedenen Sportarten.

Der Vergleich von Studienergebnisse unterschiedlicher Sportarten ist schwierig. So stellen Laufen, Radfahren, Rudern und Schwimmen verschiedene Ansprüche an den Sportler und das respiratorische System. Die Atmung beim Schwimmen zeigt hierbei die höchsten technischen Anforderungen. Die Zeitspanne in der sich der Kopf über Wasser befindet und dem Schwimmer Zeit zum Einatmen verbleibt ist kurz. Ausgeatmet wird unter Wasser. Die richtige Atemtechnik ist wichtig um nicht aus dem Rhythmus zu kommen und auch entscheiden für die Ausdauerleistung. Durch das den Schwimmer umgebende Wasser entsteht ein erhöhter Druck auf die Lunge, wodurch das

Einatmen erschwert wird. Die inspiratorische Muskulatur wird dadurch mehr gefordert als bei vergleichbaren sportlichen Belastungen an Land. Die Beanspruchungen durch alleiniges Schwimmtraining haben eine Vergrößerung des PI_{\max} gezeigt (Clanton et al., 1987; Mickleborough et al., 2008). Beim Schwimmen, Rudern und Radfahren muss das Körpergewicht des Sportlers nicht voll getragen werden. Ein Läufer muss sein Körpergewicht komplett tragen und hierfür zusätzliche Arbeit resultierend aus der Schwerkraft leisten. Somit hat Laufen einen höheren Energieverbrauch. Der Sauerstoffverbrauch steigt an, das respiratorische System muss mehr Sauerstoff zur Verfügung stellen und ist daher mehr gefordert als beispielsweise beim Radfahren. In Sportarten, in denen das Körpergewicht nicht komplett vom Athleten zu tragen ist, wird die Größe der absoluten Sauerstoffaufnahme ($VO_{2 \max}$) ausgedrückt als die der spezifischen Sauerstoffaufnahme ($sVO_{2 \max}$). Wenn das Körpergewicht voll getragen werden muss, ist die Sachlage umgekehrt. Darüber hinaus wird beim Radfahren im Gegensatz zu den anderen genannten Sportarten überwiegend die Beinmuskulatur belastet. Vor allem beim Schwimmen und Rudern werden Muskelpartien des gesamten Körpers beansprucht. Somit ergibt sich für das Radfahren die geringste Belastung des respiratorischen Systems.

In der vorliegenden Studie führte ein IMT zu keiner Veränderung der $sVO_{2 \max}$, oder der $sVO_{2 \ 5000 \ m}$. Diese Beobachtung deckt sich mit vorangegangenen Studien, die zeigten, dass die Sauerstoffaufnahme nicht durch IMT beeinflussbar ist (Edwards und Cooke, 2004; Edwards et al., 2008; Johnson et al., 2007; Markov et al., 2001). Dies steht im Einklang mit den Erkenntnissen, dass nach IMT keine kardiovaskulären Veränderungen wie zum Beispiel ein vergrößertes Schlagvolumen oder höheres Herzminutenvolumen auftreten (Edwards und Cook, 2004; Harms et al., 1998; Markov et al., 2001; Spengler et al., 1999). Es erscheint logisch, dass bei unveränderter v_{\max} im Laufbandtest und unveränderter 5000 m-Zeit sich die Sauerstoffaufnahme nicht verändert hat. Eine verbesserte Ökonomie der Atmung hätte einen Effekt auf die Sauerstoffaufnahme haben können.

4.1.2 Atemphysiologie in Ruhe

Der maximale statische Inspirationsdruck (PI_{max}) wird zur Beurteilung der Inspirationsmuskelfunktion bzw. -kraft genutzt (Hautmann et al., 2000; Volianitis et al., 2001). In vorangegangenen Studien konnte einheitlich eine Verbesserung des PI_{max} nach inspiratorischem Muskeltraining nachgewiesen werden (Clanton et al., 1985; Hart et al., 2001; Inbar et al., 2000; Kilding et al., 2010; Mickleborough et al., 2008; Mickleborough et al., 2010; Romer und McConnell, 2003; Romer et al., 2002a+b; Suzuki et al., 1993; Volianitis et al., 2001; Williams et al., 2002). Somit scheint der PI_{max} keine Auswirkungen auf die Leistung zu haben. In der vorliegenden Studie verbesserte sich der PI_{max} sowohl in der Verum- als auch in der Kontrollgruppe. Die Verbesserung in der Verumgruppe um 19,5% war fast doppelt so groß wie in der Kontrollgruppe um 10,6%: Eine Signifikanz wurde jedoch verfehlt ($p=0,09$). Dies könnte an der niedrigen Probandenanzahl liegen. Da die erwarteten Änderungen der Zielparameter wie zum Beispiel die 5000 m-Zeit vor der Studiedurchführung nicht eingeschätzt werden konnten, um die Power zu kalkulieren, wurde willkürlich eine Probandenanzahl von 40 Läufern festgelegt. Die Verbesserungen der Trainingsgruppen in anderen Studien, die ebenfalls ein Gerät der Firma POWERbreathe® verwendeten, lagen zwischen 8-14,5 % (Edwards et al.; 2008; Hart et al., 2001; Kilding et al., 2010). Lediglich Volianitis et al. (2001) erzielten eine Verbesserung von 45 %, wobei hier die fast doppelt so lange Trainingsphase von 11 Wochen im Vergleich zu den anderen genannten Studien zu berücksichtigen ist. Die Verbesserung nach 4 Wochen lag allerdings schon bei 25,1 %. Ein nachgewiesener Trainingseffekt in der Kontrollgruppe trat ebenfalls in früheren Arbeiten von Edwards und Cook (2004) und Edwards et al. (2008) auf. Dies zeigt die Schwierigkeit der Wahl eines reinen Placebotrainings (siehe Kapitel 5.3), welches keinen Trainingseffekt haben sollte ohne dass dies der Proband bemerkt. Mickleborough et al. (2010) veranschaulicht dies in seiner Studie, in dem er 3 verschiedene Gruppen verglich. Die Trainingsgruppe trainierte nach dem Prinzip IFRL mit 80 % des PI_{max} , die Shamtrainingsgruppe mit 30 % des PI_{max} und die Kontrollgruppe führte keinerlei Atemtraining durch. Der PI_{max} verbessert sich signifikant in der Trainingsgruppe um 43,8 %, in der Shamgruppe nicht signifi-

kant um 8,9 % und die Kontrollgruppe zeigte dieselben Werte sowohl vor und als nach IFRL.

Es konnte zwar in der vorliegenden Studie ein nicht signifikanter Anstieg des PI_{max} gemessen werden, aber keine wesentliche Verbesserung der 5000 m-Laufzeit. Frühere Studien konnten analog dazu keine Korrelation zwischen der relativen prozentualen Steigerung des PI_{max} und der Ausdauerleistungsfähigkeit beobachten (Edwards et al., 2008; Griffiths und McConnell, 2007; Guenette et al., 2006; Johnsons et al., 2007; Kilding et al., 2010; Volianitis et al., 2001). Edwards et al. (2008) vermutet, dass die Veränderungen der respiratorischen Muskelfunktion eher an psychologischen als an physiologische Adaptionen gebunden sind.

In der vorliegenden Studie hatte das IMT keinen Einfluss auf FVC und FEV1. Auch hier ist die aktuelle Datenlage uneinheitlich. Einige Studien fanden einen Anstieg der FEV1 nach IRFL (Mickleborough et al., 2008; Mickleborough et al., 2010; Wells et al., 2005), andere wiederum nicht (Gething et al., 2004; Inbar et al., 2000; Leddy et al., 2007). Bei der FVC konnten in keiner früheren Studie Veränderungen nach IRFL oder VIH (Voluntary isocapnic hyperpnea) bei Läufern festgestellt werden (Inbar et al., 2000; Leddy et al., 2007; Mickleborough et al., 2010). Es ist denkbar, dass bei Sport und Atemübungen die Beweglichkeit des Thorax trainiert werden kann, sodass die FVC zunehmen könnte. Durch die höhere elastische Energie, die ein "vollerer" Thorax bei der Expiration abgeben kann, könnte sich möglicherweise auch die FEV1 minimal vergrößern. Für die Leistung von Sportlern, wie sie zum Beispiel bei einem 5000 m-Lauf erbracht wird, sind FVC und FEV1 nicht maßgebend, da diese Manöver während der Belastung nie vorkommen, auch nicht bei maximaler Intensität und somit keinen Einfluss auf die Leistung haben.

4.1.3 Atemphysiologie im Laufbandstufentest

Signifikante Veränderungen der spirometrischen Parameter konnten weder auf den einzelnen Stufen des Laufbandstufentests noch bei maximaler Belastung beobachtet werden. Auch Volianitis et al. (2001) fand keine signifikanten Veränderungen dieser Parameter im Stufentest bei Ruderern. Dies spricht dafür, dass das IMT zu keiner ökonomischeren Atmung bei submaximalen sowie maximalen Belastungen führt wie es zu Beginn der Studie vermutet wurde.

4.1.4 Atemphysiologie im 5000 m-Lauf

Beim 5000 m-Laufes traten weder signifikanten Interaktionen zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Atemfrequenz und des Atemzugvolumen auf. Lediglich beim Atemminutenvolumen wurde eine signifikante Interaktion ($p=0,04$) zwischen den beiden Gruppen ermittelt. Da aber weder die Intragruppenvergleiche, die mit Hilfe des Sheffé-Test post-hoc bestimmt wurden sowie die Veränderungen der Atemfrequenz und des Atemzugvolumen signifikant waren, wird diese signifikante Interaktion des Atemminutenvolumen tagesabhängigen Schwankungen zugeschrieben. Mickleborough et al. (2010) zeigten in ihrer Arbeit, dass die teilnehmenden Läufer im Ausdauerlaufstest bis zur Erschöpfung signifikant geringere Werte bei der Sauerstoffaufnahme, dem Atemminutenvolumen, der Atemfrequenz, der Herzfrequenz und der Dyspnoe-Wahrnehmung bei der Mehrheit aufwiesen. Bei maximaler Belastung gab es keine signifikanten Ergebnisse für diese Parameter. Volianitis et al. (2001) beobachtete einen hoch signifikanten Anstieg des Atemzugvolumen im sechsminütigen maximalen Ausdauerstest bei Ruderern in der Trainingsgruppe. Das Atemminutenvolumen stieg ebenfalls an, verfehlte jedoch knapp eine Signifikanz ($p=0,051$). Die Atemfrequenz blieb unverändert. Zu beachten ist, dass es bei diesem Ausdauerstest auch eine signifikante Verbesserung der Leistung der Probanden gab. Somit wurde die Strecke schneller zurückgelegt und das Atemzugvolumen vergrößerte sich möglicherweise, um den erhöhten Sauerstoffbedarf zu decken.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie der unveränderten Atemfrequenz und des unveränderten Atemzugvolumens im 5000 m-Lauf decken sich mit

der oben genannten Vermutung, dass das IMT zu keiner Ökonomisierung der Atmung bei submaximalen Belastungen führt.

4.1.5 Subjektive Befragung der Probanden

Bei der Befragung zum subjektiven Nutzen des IMT gaben bezogen auf das gesamte Probandenkollektiv 76,7 % der Befragten „Ja“ oder „Vielleicht“ an nur 23,3 % mit „Nein“. In der Verumgruppe gaben 2/3 der Probanden an, einen subjektiven Nutzen von IMT zu haben. Niemand verneint diese Frage. In der Kontrollgruppe beantwortete die Mehrheit (54 %) der Probanden die Frage nach dem subjektiven Nutzen mit „Nein“. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war sehr signifikant ($p=0,004$). Die Probanden aus der Trainingsgruppe, die die Frage mit „Ja“ beantworteten, berichteten, sie hätten das Gefühl „mehr Luft“ am Berg oder im Endspurt zur Verfügung zu haben. In den bisherigen Studien gab es keine vergleichbare Befragung. Der von den Läufern beschriebene Effekt könnte mit der Zunahme der inspiratorischen Muskelkraft (PI_{max}) zusammenhängen. Es könnte sein, dass hierdurch die inspiratorische Muskulatur langsamer ermüdet was einige frühere Studien zeigen konnten (Clanton et al., 1985; Inbar et al., 2000; Williams et al., 2002).

Volianitis et al. (2001) und Edwards et al. (2008) verwendeten eine modifizierte Borg-Skala (Borg, 1982), um den respiratorischen Aufwand und die entstehende Atemnot während der Belastung zu evaluieren. Bei Volianitis et al. (2001) verbesserten sich die Wahrnehmung von Dyspnoe im Stufentest signifikant, nicht jedoch im sechsminütigen maximalen Ausbelastungstest. Edwards et al. (2008) und Romer et al. (2002b) konnten eine reduzierte Ermüdungswahrnehmung nach IMT feststellen, so dass die Belastung für die Probanden im zweiten Test einfacher zu bewältigen erschien.

4.2 Methodenkritik

Bei den Probanden der vorliegenden Studie handelt es sich fast ausschließlich um ambitionierte Freizeitsportler und nicht um Leistungssportler. Dies ist an den erreichten $sVO_{2\max}$ -Werte nachvollziehbar. Nach Kindermann (1987) erreichen Breiten- und Leistungssportler in Nichtausdauersportarten eine $sVO_{2\max}$ von bis zu 60 ml/min/kg. Hochtrainierte Ausdauersportler weisen regelmäßig Werte über 70 ml/min/kg auf. Scharhag-Rosenberg et al. (2009) unterteilt die $sVO_{2\max}$ in folgende Stufen: „niedrige“ aerobe Kapazität: $sVO_{2\max} < 55 \text{ ml/min}^{-1}/\text{kg}^{-1}$, „mittlere“ aerobe Kapazität: $sVO_{2\max} 55\text{--}65 \text{ ml/min}^{-1}/\text{kg}^{-1}$ und „hohe“ aerobe Kapazität: $VO_{2\max} > 65 \text{ ml/min}^{-1}/\text{kg}^{-1}$. Bei den Probanden, deren Werte in die Auswertung einfließen, lag die $sVO_{2\max}$ bei 64,4 ml/min/kg. Somit handelte es sich um gut trainierte Ausdauersportler mit mittlerer aerober Kapazität. Der durchschnittliche BMI der Probanden lag mit 23,2 kg/m² im Bereich von Normalgewichtigen.

Da die Tests je nach Probanden zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfanden, fielen die Trainingsphasen in unterschiedliche Jahreszeiten. In der Literatur wird beschrieben, dass Freizeitsportler in den Wintermonaten im Gegensatz zu den Sommermonaten auf Grund des schlechteren Wetters und früherer Dunkelheit weniger aktiv sind (Reilly und Peiser, 2006). Mithilfe der Probandenfragebögen konnten Saisonhöhepunkte innerhalb und direkt vor oder nach der Trainingsphase ausgeschlossen werden, dennoch fanden die einzelnen Trainingsphasen zu unterschiedlichen Jahreszeiten bzw. Saisonzeitpunkten statt. Dieser Aspekt könnte die Trainingsphase und somit auch die Leistungen in den Tests beeinflusst haben. Jeder Proband führte wie gewohnt sein individuelles Lauftraining fort.

Optimal wäre es, wenn man für solch eine Studie eine leistungshomogene Trainingsgruppe mit identischem Trainingsprogramm zur Verfügung hätte.

Es ist denkbar, dass bereits ein Training auf dem niedrigsten Widerstandsniveau des Atemtrainers einen Effekt hat. Dieses Problem ist allerdings in einer placebokontrollierten Studie nicht gänzlich auflösbar. Eine Alternative wäre der Einsatz eines Gerätes mit geringerem, minimalen Widerstandsniveau, wie zum Beispiel der Atemmuskeltrainer „POWERbreathe® Medium Resis-

tance“ oder „POWERbreathe® Light Resistance“ der Firma POWERbreathe® für die Kontrollgruppe oder eine zusätzliche Kontrollgruppe ohne IMT.

Zudem ist es vorstellbar, dass die Probanden der Kontrollgruppe eigenständig das Widerstandsniveau verändert haben könnten.

Wir wichen von der Trainingsempfehlung der Firma „POWERbreathe“ ab, die zweimal täglich 30 Atemzüge vorsah. Laut eines Firmenvertreters wurden keine Trainingsregime miteinander verglichen. Die Trainingsempfehlung basiert auf einer empirischen Festlegung. Wir wählten einmal täglich 50 Atemzüge, um das Training zu vereinfachen und dadurch die Trainingsadhärenz zu fördern. In der Literatur sind unterschiedliche Trainingsprotokolle von 1-2-mal täglich 30 Atemzüge über 4-11 Wochen beschrieben (siehe Kapitel 1.4).

4.3 Überprüfung der Hypothesen

1. Es konnten keine signifikanten Effekte auf den maximalen statischen Inspirationsdruck (PI_{max}) nach IMT gesichert werden.
2. IMT führte zu keiner Änderung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}).
3. Es konnte keine ökonomischere Atmung bei submaximaler Belastung festgestellt werden.
4. Es verbesserte sich weder die 5000 m-Zeit noch die maximale Laufgeschwindigkeit (v_{max}) im Laufbandstufentest.

Somit wurde lediglich Hypothese 2 verifiziert und alle weiteren Hypothesen, die zu Beginn der Studie aufgestellt wurden, konnten nicht bestätigt werden.

4.4 Schlussfolgerung und Ausblick

In der vorliegenden Studie konnte keine signifikante Leistungsverbesserung bei ambitionierten Freizeitläufern nach einem sechswöchigen IMT festgestellt werden. Verum- und Placebogruppen haben sich nicht signifikant in der 5000 m-Zeit, an der IAS oder in der v_{\max} im Laufbandtest verbessert. Ebenso konnten auch keine Veränderungen im Atemmuster im 5000 m-Lauf oder bei den weiteren beobachteten Parametern nachgewiesen werden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass kein leistungsphysiologischer Effekt nachgewiesen werden konnte, da keine atemphysiologische Veränderungen nach IMT eintraten. Ein Leistungszuwachs durch IMT beim untersuchten Probandenkollektiv hätte man an Hand der uneinheitlichen Datenlage erwarten können.

Eventuell profitieren Leistungssportler von einem IMT mehr, da bei höherer Leistungsdichte ein neuer Trainingsansatz Potential für eine möglicherweise geringe, aber relevante Leistungsverbesserung hat. Bei Freizeitsportlern stehen eher andere Ansatzpunkte (wie z. B. Optimierung des Lauftrainings, Rumpfstabilitätstraining etc.) im Vordergrund, um die Leistungsfähigkeit zu steigern. Das Probandenkollektiv von Hart et al. (2001) bestand aus 12 gesunden Untrainierten. Die Arbeitsgruppe stellte außer der Verbesserung des PI_{\max} analog zu der vorliegenden Studie keine weitere Parameterveränderung durch ein Training mit einem Gerät der Firma POWERbreathe® fest. In der vorliegenden Studie konnten keine signifikanten Interaktionen zwischen ausgewählten Probandensubgruppen und der Kontrollgruppe nach IMT nachgewiesen werden. Hierfür wurden jeweils Probanden mit folgenden erbrachten überdurchschnittlichen Leistungen ausgewählt: $sVO_{2\max} > 65$ ml/min/kg, IAS $> 4,0$ m/s, erreichten v_{\max} im Laufbandstufentest $> 4,5$ m/s oder ein erreichtes Widerstandsniveau im IMT $> 5,00$. Weitere Erkenntnisse könnte eine Studie mit Leistungssportlern liefern, die bessere Werte als die genannten vorweisen. Ein methodisches Problem bei der Umsetzung einer solchen Studie könnte das zyklisch organisierte Training der Leistungssportler darstellen, da das Training dieser je nach Saisonzeitpunkt in Intensität und Umfang variiert. Es wäre schwierig eventuelle Leistungsverbesserungen dem Atemtraining zuzuschreiben und gegenüber anderen Ursachen zu differenzieren.

Die Mehrheit des Probandenkollektives (76,7 %) beantwortete die Frage nach dem subjektiven Nutzen des IMT mit „ja“ oder „vielleicht“, wobei die Verumgruppe deutlich zufriedener mit dem IMT war. Daraus lässt sich schließen, dass die Anwenderzufriedenheit gegeben war. Auch die Vermutung von Edwards et al. (2008), dass psychologische Aspekte einen gewissen Einfluss auf die respiratorische Muskelfunktion haben wird hierdurch unterstützt. Weiterhin bewies die Studie die gute Durchführbarkeit der Methode für die Probanden. Eine Empfehlung zur breiten Anwendung kann aufgrund der Studie nicht gegeben werden.

Es sind weitere Studien zum Einfluss der respiratorischen Arbeit und Ermüdung auf die Ausdauerleistung und eine genauere Erforschung der zugrunde liegenden Mechanismen nötig, um gezielt Sportlergruppen definieren zu können, die von einem IMT eventuell profitieren könnten. Die Problematik der momentan uneinheitlichen Datenlage liegt in der Vielfältigkeit an unterschiedlichen Studiendesigns. So unterscheiden sich insbesondere die ausgewählte Probanden im Leistungsniveau und der betriebene Sportarten sowie die gewählte Form des Atemtrainings bzw. des inspiratorischen Atemtrainings. Auch die gewählte Form des Ausbelastungstest scheint keine unerhebliche Rolle zu spielen um Leistungsverbesserungen objektivieren zu können (siehe Kapitel 1.4).

Ein weiterer interessanter Aspekt wäre zu untersuchen, ob verletzte Sportler von einem IMT profitieren könnten in dem sie durch ein IMT ihre Leistungsfähigkeit während der Verletzungsphase besser erhalten können.

Somit ist noch nicht geklärt, ob ein zusätzliches Atemtraining sinnvoll für Sportler ist, oder ob die Atemmuskulatur schon beim normalen Training ausreichend trainiert wird.

Literaturverzeichnis

Astorino T (2009) Alterations in $VO_{2\max}$ and the VO_2 plateau with manipulation of sampling interval. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 29 (1): 60-67

Bardsley P, Bentley S, Hall H, Singh S, Evans D, Morgan M (1993) Measurement of inspiratory muscle performance with incremental threshold loading: a comparison of two techniques. *Thorax* 48: 354-359

Belman M, Gaesser G (1988) Ventilatory muscle training in elderly. *European Journal of Physiology* 64: 899-905

Bergh U, Ekblom B, Åstrand PO (2000) Maximal oxygen uptake “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (1): 85–88

Borg G (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. 14 (5): 377-381

Boutellier U, Buchel R, Kundert A, Spengler C (1992) The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. *European Journal of Applied Physiology* 65: 347-353

Boutellier U, Piwko P (1992) The respiratory system as an exercise limiting factor in normal sedentary subjects. *European Journal of Applied Physiology* 64: 145-152

Caine M, McConnell A (2000) Development and evaluation of a pressure threshold inspiratory muscle trainer for use in the context of sports performance. *Sports Engineering* 3: 149-159

Chen R, Que C, Yan S (1998) Introduction to a new inspiratory threshold loading device. *European Respiratory Journal* 12: 208-211

Chiappa G, Roseguini B, Vieira P, Alves C, Tavares A, Winkelmann E, Ferlin E, Stein R, Ribeiro J (2008) Inspiratory muscle training improves blood flow resisting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *Journal of American College of Cardiology* 51 (17): 1663-1671

Clanton T, Dixon G, Drake J, Gadek J (1987) Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning. *Journal of Applied Physiology* 62 (1): 39-46

Clanton T, Dixon G, Drake J, Gadek J (1985) Inspiratory muscle conditioning using a threshold loading device. *Chest* 87: 62-66

Dempsey J (1986) Is the lung built for exercise? *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18 (2): 143-155

Dempsey J, Amann M, Romer L, Miller J (2008) Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. *Medicine in Sports and Exercise* 40 (3): 457-461

di Prampero P (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European Journal of Applied Physiology* 90: 420–429

Downey A, Chenoweth L, Townsend D, Ranum J, Ferguson C, Harms C (2007) Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respiratory Physiology and Neurobiology* 156 (2): 137-146

Edwards A, Cooke C (2004) Oxygen uptake kinetics and maximal aerobic power unaffected by inspiratory muscle training in healthy subjects where time to exhaustion is extended. *European Journal of Applied Physiology* 93: 139-144

Edwards A, Walker R (2009) Inspiratory muscle training and endurance: a central metabolic control perspective. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 4 (1): 122-128

Edwards A, Wells C, Butterly R (2008) Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and 5000m running performance compared with cardiovascular training alone. *British Journal of Sports Medicine* 42: 523-527

Faude O, Meyer T (2008) Methodische Aspekte der Laktatbestimmung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 12: 305-309

Gallagher C, Younes M (1989) Effect of pressure assist on ventilation and respiratory mechanics in heavy exercise. *Journal of Applied Physiology* 66: 1824-1837

Gething A, Williams M, Davies B (2004) Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. *British Journal of Sports Medicine* 38: 730-736

Griffiths L, McConnell A (2007) The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *European Journal of Applied Physiology* 99: 457-466

Guenette J, Martens A, Lee A, Tyler G, Richards J, Foster G, Warburton D, Sheel A (2006) Variable effects of respiratory muscle training on cycle exercise performance in men and women. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 31: 159-166

Hanel B, Secher N (1991) Maximal oxygen uptake and work capacity after inspiratory muscle training: a controlled study. *Journal of Sports Sciences* 12: 66-70

Harms C, Babcock M, McClaran S, Pegelow D, Nickele G, Nelson W, Dempsey J (1997) Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology* 82: 1573-1583

Harms C, Wetter T, McClaran S, Pegelow D, Nickele G, Nelson W, Hanson P, Dempsey J (1998) Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology* 85: 609-618

Hart N, Sylvester K, Ward S, Cramer D, Moxham J, Polkey M (2001) Evaluation of an inspiratory muscle trainer in healthy humans. *Respiratory Medicine* 95: 526-531

Hautmann H, Hefele S, Schotten K, Huber M (2000) Maximal inspiratory mouth pressure (PI_{max}) in healthy subjects – what is the lower limit of normal? *Respiratory Medicine* 94: 689-693

Hill A, Lupton H (1923). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Oxford Journals Medicine* 16: 135–171.

Inbar O, Weiner P, Azgad Y, Rotstein A, Weinstein Y (2000) Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32: 1233-1237

Jeukendrup A, Saris W, Brouns F, Kester A (1996) A new validated endurance performance test. *Medicine And Science In Sports And Exercise* 28 (2): 266-70

Johnson B, Aaron E, Babcock M, Dempsey J (1996) Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28: 1129-1137

Johnson B, Babcock M, Suman E, Depmsey J (1993) Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *Journal of Physiology* 460: 385-405

Johnson M, Sharpe, G, Brown P (2007) Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *European Journal of Applied Physiology* 101: 761-770

Joyner M (1991) Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology* 70: 683–687

Joyner M, Coyle E (2008) Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology* 586.1 (2008) 35–44

Kabitz H-J, Walker D, Prettin S, Walterspracher S, Sonntag F, Dreher M, Windisch W (2008a) Non-invasive ventilation applied for recovery from exercise-induced diaphragmatic fatigue. *The Open Respiratory Medicine Journal* 2: 16-21

Kabitz H-J, Walker D, Schwoerer A, Sonntag F, Walterspacher S, Roecker K, Windisch W (2007) New physiological insights into exercise-induced diaphragmatic fatigue. *Respiratory Physiology and Neurobiology* 158 (1): 88-96

Kabitz H-J, Walker D, Sonntag F, Walterspacher S, Kirchberger A, Burgardt V, Roecker K, Windisch W (2008b) Post-exercise diaphragm shielding: A novel approach to exercise-induced diaphragmatic fatigue. *Respiratory Physiology and Neurobiology* 162: 230-237

Keens T, Krastins I, Wannamaker E, Levison H, Crozier D, Bryan A (1977) Ventilatory muscle endurance training in normal subjects and patients with cystic fibrosis. *The American Review of Respiratory Disease* 116: 853-860

Kilding A, Brown S, McConnell A (2010) Inspiratory muscle training improves 100m and 200m swimming performance. *European Journal of Applied Physiology* 108: 505-511

Kindermann W (1987) Ergometrieempfehlung für die ärztliche Praxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 6: 244-268

Krishnan B, Zintel T, McParland C, Gallagher C (1996) Lack of importance of respiratory muscle load in ventilator regulation during heavy exercise. *Journal of Physiology* 490: 537-550

Leddy J, Limprasertkul A, Patel S, Modlich F, Buyea C, Pendergast D, Lundgren C (2007) Isocapnic hyperpnea training improves performance in competitive male runners. *European Journal of Applied Physiology* 99: 665-676

Leith D, Bradley M (1976) Ventilatory muscle strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 41: 508-516

Loke J, Mahler D, Virgulto J (1982) Respiratory muscle fatigue after marathon running. *Journal of Applied Physiology* 52 (4): 821-824

Mador M, Acevedo F (1991) Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *Journal of Applied Physiology* 70: 2059-2065

Mador M, Mangalang U, Rodis A, Kufel T (1993) Diaphragmatic fatigue after exercise in healthy human subjects. *The American Review of Respiratory Disease* 148 (6 Pt 1): 1571-1575

Markov G, Spengler C, Knopfli-Lenzin C, Stuessi C, Boutellier U (2001) Respiratory muscle training increases cycling endurance without affecting cardiovascular responses to exercise. *European Journal of Applied* 85: 233-239

Martin B, Heintzelman M, Chen H.-I. (1982) Exercise performance after ventilatory work. *Journal of Applied Physiology* 52: 1581-1585

McConnell A, Lomax M (2006) The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *The Journal of Physiology* 577: 445-457

McConnell A, Romer L (2004) Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *International Journal of Sports Medicine* 25: 284-293

McConnell A, Sharpe G (2005) The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. *Journal of Applied Physiology* 94: 277-284

McMahon M, Boutellier U, Smith R, Spengler C (2002) Hyperpnea training attenuates peripheral chemosensitivity and improves cycling endurance. *Journal of Experimental Biology* 205: 3937-3943

Meyer T, Scharhag J und Kindermann W (2005) Peak oxygen uptake. Myth and truth about an internationally accepted reference value. *Zeitschrift für Kardiologie* 94: 255-264

Mickleborough T, Nichols T, Lindley M, Chatham K, Ionescu A (2010) Inspiratory flow resistive loading improves respiratory muscle function and endurance capacity in recreational runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 20: 458-468

Mickleborough T, Stager J, Chatham K, Lindley M, Ionescu A (2008) Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *European Journal of Applied Physiology* 103: 635–646

NHLBI Workshop Summery (1990) Respiratory muscle fatigue. *American Review of Respiratory Disease* 142: 474-480

Noakes T (1997) Challenging beliefs: *ex Africa semper aliquid novi*. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29: 571–590

Noakes T, Peltonen J, Rusko H (2001) Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *The Journal of Experimental Biology* 204: 3225–3234

Ouellet Y, Poh S, Becklake M (1969) Circulatory factors limiting maximal aerobic exercise capacity. *Journal of Applied Physiology* 27 (6): 874-880

Pelliccia A, Maron BJ, Culasso F, di Paolo FM, Spataro A, Biffi A, Caselli G, Piovano P (2000) Clinical significance of abnormal electrocardiographic patterns in trained athletes. *Circulation* 102 (3): 278-284

Peronnet F, Thibault G, Cousineau D (1991). A theoretical analysis of the effect of altitude on running performance. *Journal of Applied Physiology* 70: 399-404

Polkey M, Moxham J (2001) Clinical aspects of respiratory muscle dysfunction in the critically ill. *Chest* 119: 926-939

POWERbreathe®, Benutzerhandbuch „POWERbreathe® Classic Sports Performance Model (Heavy)“ Hersteller: POWERbreathe, HaB International Ltdl (Warwickshire, United Kingdom)

Reilly T, Peiser B (2006) Seasonal variations in health-related human physical activity. *Sports Medicine* 36: 473-485

Romer L, McConnell A (2003) Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35: 237-244

Romer L, McConnell A, Jones D (2002a) Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Science* 20: 547-562

Romer L, McConnell A, Jones D (2002b) Effects of inspiratory muscle training upon recovery time during high intensity, repetitive sprint activity. *International Journal of Sports Medicine* 23: 353-360

Romer L, Polkey M (2008) Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of Applied Physiology* 104 (3): 879-888

Scharhag-Rosenberger F, Meyer T, Gäßler N, Faude O, Kindermann W (2009) Exercise at given percentages of $VO_{2\text{ max}}$: Heterogeneous metabolic responses between individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport* 13: 74–79

Seals D (2001) Robin Hood for the lungs? A respiratory metaboreflex that "steals" blood flow from locomotor muscles. *The Journal of Physiology* 537 (1): 2

Sheel A (2002) Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports Medicine* 32 (9): 567-581

Spengler C, Boutellier U (2000) Breathless legs? Consider training your respiration. *News in Physiological Sciences* 15: 101-105

Spengler C, Roos M, Laube S, Boutellier U (1999) Decreased exercise blood lactate concentration after respiratory endurance training in humans. *European Journal of Applied Physiology* 79: 299-305

Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A (1981) Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine* 2(3): 160-165

Stuessi C, Sprengler C, Knopfli-Lenzin C, Markov G, Boutellier U (2001) Respiratory muscle endurance training in humans increase cycling endurance without affecting blood gas concentrations. *European Journal of Applied Physiology* 84: 582-586

Suzuki S, Sato M, Okubo T (1995) Expiratory muscle training and sensation of respiratory effort during exercise in normal subjects. *Thorax* 50 (4): 366-370

Suzuki S, Yoshiike Y, Suzuki M, Akahori T, Hasegawa A, Okubo T (1993) Inspiratory muscle training and respiratory sensation during treadmill exercise. *Chest* 104: 197-202

Tong T, Fu F, Chung P, Eston R, Lu K, Quach B, Nie J, So R (2008) The effect of inspiratory muscle training on high intensity, intermittent running performance to exhaustion. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 33: 671-681

Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W (1993) Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine* 14: 134-139

Verges S, Sager Y, Erni C, Spengler C (2007) Expiratory muscle fatigue impairs exercise performance. *European Journal of Applied Physiology* 101: 225-232

Volianitis S, McConnell A, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones D (2001) Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (5): 803-809

Wells G, Plyley M, Thomas S, Goodman L, Duffin J (2005) Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *European Journal of Applied Physiology* 94: 527-540

Williams J, Wongsathikun J, Boon S, Acevedo E (2002) Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34: 1194-1198

Witt J, Guenette J, Rupert J, McKenzie D, Sheel A (2007) Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *The Journal of Physiology* 584 (3): 1019-1028

Woodway (2008) Lamellenlaufband. Handreichung zum Laufband der Firma Woodway (Weil am Rhein)

Anhang

A: Probandenfragebogen

Institut für Sport- und Präventivmedizin
Bereich Klinische Medizin
Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Tim Meyer



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES

Institut für Sport- und Präventivmedizin
Universität des Saarlandes, Postfach 151150, 66041 Saarbrücken

Probandenfragebogen Inspirationsmuskeltraining

Name:	Email-Adresse:
Geburtsdatum:	Telefonnummer:
Betriebene Sportart:	Weitere sportliche Aktivitäten mit Umfang ->
Laufeinheiten pro Woche:	Radfahren:
km-Anzahl pro Woche:	Schwimmen:
Stunden pro Woche:	Krafttraining:
SIND BEI IHNEN VORERKRANKUNGEN BEKANNT ?	
<ul style="list-style-type: none">• Haben Sie Lungenfunktionsstörungen (z.B. Atemnot, Asthma)?• Bestehen Herz-Kreislaufstörungen (z.B. Schwindel, Bewußtlosigkeit)?• Weitere bekannte Erkrankungen:	
HABEN SIE AKTUELL IRGENDWELCHE BESCHWERDEN? WENN JA, WELCHE ?	
NEHMEN SIE MEDIKAMENTE ODER NAHRUNGSERGÄNZUNGSMITTEL EIN (Z.B. VITAMIN- ODER MINERALTABLETTEN, INHALATIONSSPRAYS...) ? WENN JA, WELCHE ?	
SIND BEI IHNEN ALLERGIEN BEKANNT ? WENN JA, WELCHE ?	

Lieferanschrift: Universität des Saarlandes, Campus B8 2, 66123 Saarbrücken
☎ (0681) 302 - 3750 ☎ (0681) 302 - 4296 ✉ sportmed@mx.uni-saarland.de
http://www.med-rz.uniklinik-saarland.de/med_fak/sport-praev/index.html



Institut für Sport- und Präventivmedizin
 Universität des Saarlandes, Postfach 151150, 66041 Saarbrücken

GEBEN SIE IHRE VERLETZUNGEN IM JAHR 2009 AN MIT UNGEFÄHREM ZEITPUNKT + TRAININGSPAUSE:	
BESCHREIBEN SIE IHREN MOMENTANEN TRAININGSZUSTAND (z.B. Vorbereitung, Wettkampfphase etc.)	
WAS UND WANN IST IHR SAISONHÖHEPUNKT 2009?	
PLANEN SIE 2009 EINE TRAININGSPAUSE? WENN JA, WANN ?	
HABEN SIE SCHON EINMAL EIN INSPIRATONSMUSKELTRAINING DURCHFÜHRT ?	
PERSÖNLICHE BESTZEITEN (JAHR):	SAISONBESTZEITEN:
800m/1500m:	800m/1500m:
3000m/5000m:	3000m/5000m:
10000m:	10000m:
Weitere Strecke:	Weitere Strecke:
UNTERSCHRIFT DES PROBANDEN	
Name:	Ort/Datum:

B.1: Anleitungszettel Kontrollgruppe

POWERbreathe - Hinweise zur Benutzung

- Anwendung:**
- Aufrecht sitzen, Nasenklammer immer aufsetzen
 - Lippen sollten äußeren Rand bedecken und abdichten
 - Atmen Sie aus soweit Sie können
 - Atmen Sie schnell und kräftig durch den Mund ein, so tief wie möglich
 - Atmen Sie langsam passiv aus bis ihre Lungen leer sind
 - Machen Sie eine Pause bis sie spüren, dass Sie wieder atmen müssen
- Trainingsplan:**
- 1mal am Tag 50 Atemzüge
- Wenn Sie die 50 Atemzüge nicht auf Anhieb schaffen, machen Sie sich deswegen keine Sorgen. Jeder ist verschieden und es kann eine gewisse Zeit dauern, bis Ihre Atemmuskulatur entsprechend aufgebaut ist.
- Verstellen Sie bitte niemals (!) ihr POWERbreathe-Gerät, da Sie sonst unsere Studie zu unterschiedlichen Trainingsprogrammen unmöglich machen.
- Hinweis:**
- Wenn Sie sich benommen fühlen, verlangsamen Sie ihre Atmung und machen eine Pause am Ende ihrer Ausatmung
- Sollten Sie ein Kribbelgefühl in den Finger verspüren, Kopfweh auftreten oder Ihnen schwarz vor Augen werden, unterbrechen Sie das Training und atmen langsam weiter. Falls dies nicht hilft, atmen Sie in eine Plastiktüte ein und aus.
- Trainieren Sie mit dem POWERbreath-Gerät nur, wenn Sie sich hierbei gut fühlen. Bei Ohrschmerzen, starker Verschleimung oder deutlichem Hustenreiz sollten Sie das Training unterbrechen und die Trainingspause für unsere Studiauswertung dokumentieren. Im Zweifel bitte bei uns melden (s. unten).
- Wartung:**
- Entfernen Sie die Schlusskappe nie, sonst löst sich das Einwegklappenventil!
- Bewahren Sie Ihr POWERbreathe stets sauber, hygienisch und trocken auf!
- Verwenden Sie zur Reinigung des Mundstücks Wasser mit mildem Reinigungsmittel, anschließend abspülen und trocknen lassen.

Falls Probleme oder Fragen auftauchen sollten melden Sie sich bei mir per email (ajweiten@gmx.de) oder telefonisch unter 0176/20642483

B.2: Anleitungszettel Trainingsgruppe

POWERbreathe - Hinweise zur Benutzung

- Anwendung:**
- Aufrecht sitzen, Nasenklammer immer aufsetzen
 - Lippen sollten äußeren Rand bedecken und abdichten
 - Atmen Sie aus soweit Sie können
 - Atmen Sie schnell und kräftig durch den Mund ein, so tief wie möglich
 - Atmen Sie langsam passiv aus bis ihre Lungen leer sind
 - Machen Sie eine Pause bis sie spüren, dass Sie wieder atmen müssen
- Trainingsplan:**
- 1mal am Tag 50 Atemzüge
- Wenn Sie die 50 Atemzüge nicht auf Anhieb schaffen, machen Sie sich deswegen keine Sorgen. Jeder ist verschieden und es kann eine gewisse Zeit dauern, bis Ihre Atemmuskulatur entsprechend aufgebaut ist.
- Wenn Sie merken, dass Sie mit wenig Anstrengung 50 Atemzüge machen können, sollten Sie Ihre Trainingsbelastung um eine Vierteldrehung erhöhen. Dadurch erreichen Sie beim nächsten Training möglicherweise weniger als 50 Atemzüge. Erhöhen Sie erst wieder das Niveau, wenn Sie locker 50 Atemzüge schaffen.
- Belastungsregler bitte nicht unter Niveau 1 oder über Niveau 9 hinaus spannen, da der Mechanismus sonst beschädigt wird!
- Hinweis:**
- Wenn Sie sich benommen fühlen, verlangsamen Sie ihre Atmung und machen eine Pause am Ende ihrer Ausatmung
- Sollten Sie ein Kribbelgefühl in den Finger verspüren, Kopfweh auftreten oder Ihnen schwarz vor Augen werden, unterbrechen Sie das Training und atmen langsam weiter. Falls dies nicht hilft, atmen Sie in eine Plastiktüte ein und aus.
- Trainieren Sie mit dem POWERbreath-Gerät nur, wenn Sie sich hierbei gut fühlen. Bei Ohrschmerzen, starker Verschleimung oder deutlichem Hustenreiz sollten Sie das Training unterbrechen und die Trainingspause für unsere Studiaauswertung dokumentieren. Im Zweifel bitte bei uns melden (s. unten).
- Wartung:**
- Entfernen Sie die Schlusskappe nie, sonst löst sich das Einwegklappenventil!
- Bewahren Sie Ihr POWERbreathe stets sauber, hygienisch und trocken auf!
- Verwenden Sie zur Reinigung des Mundstücks Wasser mit mildem Reinigungsmittel, anschließend abspülen und trockenen lassen.

Falls Probleme oder Fragen auftauchen, sollten melden Sie sich bei mir per email (aiweiten@gmx.de) oder telefonisch unter 0176/20642483

C: Trainingprotokoll

Trainingsbuch zum Inspirationsmuskeltraining

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag	Bemerkungen
1. Woche 30.11.-06.12.09								
	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	
2. Woche 07.12.13.12.09								
	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	
3. Woche 14.12.-20.12.09								
	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	<input type="checkbox"/> IMT	

D: Belastungsprotokoll des Instituts für Sport- und Präventionsmedizin Saarbrücken

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Universität des Saarlandes
Campus Gebäude 39.1
66123 Saarbrücken



Ergometrie / Belastungs-EKG

Datum:

Uhrzeit:

Größe (cm):

Gewicht (kg):

BMI:

Körperfett:
10 P. (mm / %)

Medikamente/Einnahmezeitpunkt:
.....

Max. Leistung:

(W/kg, W/kg^{0.75}, m/s, km/h)

VO₂ max (ml/min):

VO₂ max:

(ml/kg/min bzw. ml/kg^{0.75}/min):

Anaérober Test:

Leistung:

Laktat (mmol/l): vor

max

Anstieg

FL

FS

LB

HK

FST

Belastung (Watt, m/s, km/h)	Hf (Schl./min)	RR (mm Hg)	Laktat (mmol/l)	Bemerkungen (Beschwerden, Rhythmusstörungen usw.)
Ruhe				

Abbruchgrund:

Publikation

Weiten A, Such U, Meyer T (2011) Auswirkungen von inspiratorischem Muskeltraining auf Leistungsfähigkeit und Atemökonomie von Ausdauersportlern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 62 (7-8): 250 Referat Nr. 290

Kommentar

Bei sämtlichen Studienbeteiligten lagen keine Interessenkonflikte durch Teilnahme an der Studie oder deren Durchführung vor. Darüber hinaus wurde keine Drittmittelunterstützung für diese Studie gewährt.

Danksagung

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Tim Meyer für seine Anregung und das mir entgegengebrachte Vertrauen. Vielen Dank, dass ich die Möglichkeit hatte, meine Dissertation im Institut für Sport- und Präventivmedizin durchzuführen und dass ich das Thema in Form eines Vortrages beim 42. Deutschen Sportärztekongress vorstellen durfte.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dr. med. Ulf Such für seine gute Betreuung. Er hatte immer ein offenes Ohr für mich und hat mich bei auftretenden Problemen stets gut beraten.

Die Mitarbeiter/Innen des Instituts für Sport- und Präventivmedizin, des Sekretariates, der Ergometrie und des Labors waren sehr hilfsbereit und sorgten mit ihrer Herzlichkeit für eine angenehme Arbeitsatmosphäre. Danke!

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. phil. Oliver Faude für die Beratung in statistischen Fragen und Herrn Jörg Müller für die Koordination der Hallennutzung.

Zu besonders großem Dank bin ich allen Probanden verpflichtet, die den Weg nach Saarbrücken, die Strapazen der Tests und des Trainings auf sich genommen haben sowie ihre Zeit geopfert haben und mich immer wieder an ihrer guten Laune und Freude am Sport teilhaben ließen.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie und Benedikt Puhl. Danke, dass ich mich immer auf Euch verlassen kann.