UNIVERSITÄTSKLINIKUM ULM

KLINIK FÜR HALS-, NASEN- UND OHRENHEILKUNDE,

KOPF- UND HALSCHIRURGIE

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. T. Hoffmann

EINFLUSS VON KÖRPERLICHER BELASTUNG AUF DIE NASENDURCHGÄNGIGKEIT, BEWERTET MIT HILFE DER MESSMETHODEN RHINOMETRIE, RHINOMANOMETRIE UND RHINORESISTOMETRIE

- EINE KLINISCH-PROSPEKTIVE STUDIE -

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät

der Universität Ulm

Sofie Beer

Friedrichshafen

2023

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Jörg Lindemann

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Claus-Martin Muth

Tag der Promotion: 15.06.2023

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis III

1 Einleitung 1

1.1 Anatomie 3

1.2 Wissenschaftlicher Hintergrund 10

1.3 Ziel der Studie 19

2 Material und Methoden 20

2.1 Probandenkollektiv 20

2.2 Versuchsaufbau und Durchführung 22

2.3 Aufbau der Fragebögen 27

2.4 Messmethoden 29

2.5 Statistische Auswertung der gemessenen Ergebnisse 41

3 Ergebnisse 43

3.1 Probandenkollektiv 43

3.2 Deskriptive Analyse und Ergebnisse der akustischen Rhinometrie 44

3.3 Deskriptive Analyse und Ergebnisse der Rhinomanometrie 51

3.4 Deskriptive Analyse und Ergebnisse der Rhinoresistometrie 65

3.5 Deskriptive Auswertung der Fragebögen 72

3.6 Korrelation der Messergebnisse und der Fragebögen 81

3.7 Zusammenfassung der Hauptergebnisse 83

4 Diskussion 85

4.1 Diskussion der Methodik 87

4.2 Diskussion der Ergebnisse 90

4.3 Aussagekraft und Limitationen der durchgeführten Studie 95

4.4 Fazit und Ausblick 96

5 Zusammenfassung 97

6 Literaturverzeichnis 99

Anhang IV

Abbildungsverzeichnis IV

Tabellenverzeichnis VIII

Fragebögen IX

Danksagung XII

Lebenslauf XIII

Abkürzungsverzeichnis

cm^2	Quadratzentimeter
cm^3	Kubikzentimeter
exspirat.	exspiratorisch
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HNO	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
inspirat.	inspiratorisch
l/min	Liter pro Minute
MCA 1	Minimal Cross Sectional Area 1
MCA 2	Minimal Cross Sectional Area 2
min	Minute
ml/s	Milliliter pro Sekunde
mm	Millimeter
n.s.	nicht signifikant
sPa/ml	Sekunden-Pascal pro Milliliter
t_0	Messzeitpunkt vor körperlicher Belastung
t_1	Messzeitpunkt nach zehn Minuten Belastung
t_2	Messzeitpunkt nach 20 Minuten Belastung
t_3	Messzeitpunkt nach 30 Minuten Belastung

1 Einleitung

Eine *freie Nase* wird von einem Großteil der Bevölkerung als selbstverständlich angesehen. Eine im Volksmund bekannte *verstopfte Nase* stellt bei Erkrankungen, die die Atemwege betreffen – beispielsweise bei Infekten, einer Rhinitis oder im Rahmen einer Infektion mit SARS-CoV-2 – ein gängiges Symptom dar. Die veränderte Nasendurchgängigkeit wird von der Allgemeinheit zumeist als unangenehm empfunden und kann die Lebensqualität mindern.

Zur Therapie einer eingeschränkten Nasendurchgängigkeit werden häufig Nasensprays eingesetzt, die ein Abschwellen der Nasenschleimhaut herbeiführen, woraus eine subjektiv verbesserte Nasenatmung resultiert (Maranta u. Simmen 1996). Pro Jahr werden in Deutschland schätzungsweise 50 Millionen Packungen Nasenspray durch Apotheken verkauft (Statista 2017). Dieser enorme Bedarf lässt darauf schließen, dass eine uneingeschränkte Nasendurchgängigkeit durchaus einen positiven Einfluss auf das subjektive Wohlbefinden hat. Als Wirkstoffe werden in Nasensprays sowohl entzündungshemmende Substanzen wie Antihistaminika als auch vasokonstriktorische Substanzen – in erster Linie Sympathomimetika – genutzt (Maranta u. Simmen 1996). Xylometazolin kann hierbei als Beispiel für ein wirksames abschwellendes Mittel genannt werden, bei welchem in Studien eine Verbesserung der Durchgängigkeit der Nase nachgewiesen werden konnte (Maranta u. Simmen 1996).

Die Abnahme des Volumens der im nasalen Gewebe befindlichen Schwellkörper gelingt durch die Vasokonstriktion, welche durch die Ausschüttung von Neurotransmittern des sympathischen Teils des Nervensystems erzeugt wird. Als Transmitter sind hier beispielsweise Noradrenalin und Neuropeptid Y zu nennen (Knipping et al. 2004). Insgesamt wird die Nase sehr komplex angesteuert und unterliegt dem Einfluss verschiedener Hormone und Peptide aufgrund der Innervation durch das autonome Nervensystem. Es zeigen sich hierdurch Auswirkungen auf die Durchblutung und somit auch auf die Nasendurchgängigkeit.

Ein Ansprechen dieses vegetativen Nervensystems kann jedoch nicht nur durch Arzneimittel, sondern auch durch körperliche Belastung erzielt werden. Es kommt ebenfalls zu einer Stimulation des sympathoadrenergen Systems, wodurch in Folge vermehrt Katecholamine ausgeschüttet werden (Strobel 2002). Dies führt zu einer Vasokonstriktion.

Darüber hinaus wird durch den Sympathikus die Atmung beschleunigt, um die Sauerstoffversorgung zu optimieren und die körperliche Leistungsfähigkeit zu verbessern (Strobel 2002).

Körperliche Betätigung hat somit weitreichende Auswirkungen auf den menschlichen Körper. Positive Effekte können bei moderatem Training sowohl in physiologischer als auch in psychologischer Hinsicht festgestellt werden. Die menschliche Nase wird ebenfalls durch körperliche Anstrengung beeinflusst, was im weiteren Verlauf der Arbeit genauer erläutert und untersucht wird.

1.1 Anatomie

Als erster Abschnitt der oberen Luftwege hat die Nase verschiedene Funktionen. Zu diesen gehören die Anfeuchtung und Erwärmung der eingeatmeten Luft und eine Schutzfunktion, da das Organ die erste Barriere des Immunsystems für sämtliche mit der Luft aufgenommene Krankheitserreger bildet. Darüber hinaus ist sie an der Sprachbildung beteiligt und dient der Geruchswahrnehmung.

1.1.1 Allgemeine Anatomie

Die Inhalte der folgenden Abschnitte basieren auf den Erkenntnissen des Buches *Hals-Nasen-Ohrenheilkunde* von Boenninghaus und Lenarz aus dem Jahr 2012 (Boenninghaus u. Lenarz 2012).

Die Nase kann in einen inneren und einen äußeren Abschnitt gegliedert werden. Die Nasenhaupthöhle wird durch das sogenannte Septum nasi in eine rechte und eine linke Nasenhöhle geteilt. Sie beginnt an der Nasenklappe und endet hinten an den Choanen. An der lateralen Nasenwand befinden sich die Conchae nasales – die Nasenmuscheln – wovon es eine untere, eine mittlere und eine obere Muschel gibt. Der Weg des Hauptluftstroms verläuft bei der Inspiration zwischen der Concha nasalis inferior und der Concha nasalis media von dem Eingang der Nasenhöhle bis zu der Choane. Hier ergeben sich sowohl laminare als auch turbulente Ströme.

Das Vestibulum nasi entspricht dem Nasenvorhof. Es bezeichnet den Teil der Nase, der vom Nasenspitzenknorpel umschlossen ist. Als Nasenklappe oder Limen nasi wird das enge Ende des Vestibulum nasi beschrieben, das für die Atemphysiologie von großer Bedeutung ist und sich „an der unteren Kante des Dreieckknorpels“ (Boenninghaus u. Lenarz 2012: 140) befindet. Die sogenannte innere Nasenklappe wird „lateral vom kaudalen Rand des Lateralknorpels und medial vom Septumknorpel gebildet“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 17). Man spricht hier auch von dem Ostium nasi internum. Zwischen den beiden Knorpeln entsteht ein Winkel, welcher als Klappenwinkel bezeichnet wird. Dieser entspricht einer Größe von etwa 15 Grad (Mlynski u. Pirsig 2018).

Eine weitere funktionell wichtige Engstelle im Naseninneren ergibt sich aus der Concha nasalis inferior und den Schwellkörpern des Septums (Enßen 2005). Das Schwellkörpergewebe umhüllt die knöchernen Anteile der Nasenmuscheln (Paulsen 2015).

Durch dieses Schwellgewebe kann im Nasenlumen aufgrund von vegetativer Steuerung durch Sympathikus und Parasympathikus eine Erweiterung oder Verengung herbeigeführt werden. Grund hierfür sind Bluträume, die in besagtem Gewebe zu finden sind und durch unterschiedliche Füllungszustände Veränderungen hervorrufen. Hierdurch kann der Atemstrom reguliert werden, der unter anderem von dem Nasenwiderstand abhängig ist und beispielsweise durch körperliche Aktivität beeinflusst werden kann. Folglich kommt es zu einer bedarfsabhängigen Anpassung des Hauptluftstroms unter verschiedenen exogenen und endogenen Einflüssen (Boenninghaus u. Lenarz 2012).

Die funktionelle Anatomie wird im Folgenden genauer erläutert.

1.1.2 Funktionelle Anatomie und Physiologie

Als Grundlage zur Erklärung der funktionellen Anatomie im folgenden Kapitel dient das Buch *Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie* von Gunter Mlynski und Wolfgang Pirsig aus dem Jahr 2018 (Mlynski u. Pirsig 2018).

Um die physiologischen Gegebenheiten der Nase zu erläutern, wird oft die Darstellung im Sinne eines Strömungskanals verwendet. Hierbei kann eine Unterteilung der Nase in drei funktionell wichtige Abschnitte erfolgen: Den Einströmbereich, welcher „in inspiratorischer Richtung aus dem Ostium externum [nasi], dem Vestibulum, dem Ostium internum [nasi] und dem vorderen Kavum“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 26) besteht, dem „eigentliche[n] Funktionsbereich“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 26) und dem Bereich, in dem das Ausströmen der Luft erfolgt. Hierzu werden neben dem Meatus nasopharyngeus auch die Choane sowie der Nasopharynx gezählt. Wie bereits erwähnt, ist das Ostium externum nasi als Eingangspunkt des Luftstroms anzusehen. Es trägt die Bezeichnung der äußeren Nasenklappe.

Zwischen diesem Eintrittspunkt und dem Ostium internum nasi befindet sich das Vestibulum nasi. Durch die anatomischen Voraussetzungen besitzt das Vestibulum die Funktion eines Krümmers, der eine Änderung der Strömungsrichtung der Luft herbeiführt und dadurch den Strömungsverlauf beeinflusst. Überdies funktioniert das Vestibulum auch als Düse, da die Querschnittsfläche des Ostium externum größer ist als die des Ostium internum. Durch den enger werdenden Verlauf ergibt sich eine „Minderung turbulenter Strömungsanteile“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 27), wodurch am Ostium internum nasi der laminare Strömungscharakter überwiegt. Es lassen sich zwei Arten von Strömungsverhalten unterscheiden: Das turbulente Strömungsverhalten und das laminare Strömungsverhalten. Charakteristisch für die turbulente Strömung sind Verwirbelungen und eine Kreuzung der Stromlinien. Dies sorgt dafür, dass der Strömungswiderstand vergrößert wird und Energie verloren geht. Im Gegensatz dazu verlaufen bei der laminaren Strömung die Stromlinien parallel zueinander und es kommt zu keiner Kreuzung (Bohn 2015).

Die bereits erwähnte innere Nasenklappe – wie das Ostium internum auch genannt wird – bildet die „Grenze zwischen Vestibulumhaut und Kavumschleimhaut“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 27) und ist innerhalb des Strömungskanals der engste Teil. In der anschließenden Muschelregion kommt es zu einer Vergrößerung des Querschnitts. Dies führt gleichzeitig zu

einer Verlangsamung der Strömung. Der Charakter der hier vorliegenden Strömung ist wieder turbulent, was sowohl für die Klimatisierung als auch für die Reinigung der Nase von Bedeutung ist.

Je nach Phase des Nasenzyklus ist das Kavum unterschiedlich weit und somit auch die Geschwindigkeit des Luftstroms unterschiedlich schnell, was sich auf die turbulente Strömung auswirkt. Durch diese Querschnittszunahme erhält das Kavum die Funktion eines Diffusors. Wichtig anzuführen ist in diesem Zusammenhang auch der daraus resultierende Diffusoröffnungswinkel φ, denn „ein großer Öffnungswinkel bewirkt einen hohen Turbulenzgrad“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 38) und umgekehrt. Im Bereich des nasalen Diffusors ist eine besondere Form des Gewebes zu finden: Es handelt sich um ein schwellfähiges Gewebe am „Kopf der unteren Muschel“ (Mlynski u. Pirsig 2018: 38) sowie um den Schwellkörper des Septums. Innerhalb des Nasenzyklus entstehen verschiedene Schwellungszustände, die Einfluss auf die Diffusorfunktion nehmen und die die beteiligten Parameter wie beispielsweise den Grad der turbulenten Strömung regulieren. Des Weiteren wird dadurch auch der Atemwiderstand beeinflusst.

Der bereits erwähnte Nasenzyklus beschreibt das physiologische, wechselseitige An- und Abschwellen der nasalen Schleimhaut in den Nasenmuscheln. Hierbei kann zwischen einer Ruhephase und einer Arbeitsphase unterschieden werden. In der Ruhephase, während der es zu einem Anschwellen der Schleimhaut kommt, ist ein überwiegend laminarer Strömungscharakter ersichtlich. Im Gegensatz dazu überwiegt die turbulente Strömung in der Arbeitsphase, in der die Schleimhaut abschwillt. Es wird angenommen, dass es innerhalb der Arbeitsphase zu dem Prozess der Reinigung, Anfeuchtung und Erwärmung der zuvor eingeatmeten Luft kommt, was für eine reibungslos funktionierende Atemfunktion essentiell ist. Die Schleimhaut regeneriert sich daraufhin in der Ruhephase, es kommt zu einer vermehrten Füllung der Blutgefäße. Dadurch ist eine Speicherung von Feuchtigkeit und Wärmeenergie möglich (Schlüter 2009).

Die Dauer eines Nasenzyklus, welcher etwa bei 80 Prozent der Bevölkerung vorhanden ist, wird in der Literatur mit sehr variablen Werten angegeben. Sie wird in etwa mit einer Länge von zwei bis sieben Stunden für das wechselseitige An- und Abschwellen beschrieben (Paulsen 2015).

Innerhalb der Atemwege herrscht ein physiologischer Widerstand, wovon ein wesentlicher Teil der nasale Atemwiderstand ist. Dieser nasale Widerstand kann pathologisch erhöht sein, darf aber aus physikalischen und physiologischen Gründen auch nicht zu gering sein, da die unteren Atemwege durch diesen vorgeschalteten Widerstand vor „zu hoher Durchströmung" (Mlynski u. Pirsig 2018: 41) geschützt werden. Durch Reibung der Luft an den nasalen Wänden kommt es zu einem Verlust von Energie, wodurch der Strömungswiderstand entsteht. Dieser Energieverlust ist umso geringer, je „größer das Verhältnis von Querschnittsfläche zum Umfang (Wandfläche) ist" (Mlynski u. Pirsig 2018: 41). Somit ist dann auch der Strömungswiderstand niedriger.

Der nasale Widerstand wird durch physiologische Mechanismen reguliert. Hier spielt der Nasenzyklus eine sehr entscheidende Rolle. Durch das bereits genannte schwellfähige Gewebe kann die Bahn des Luftstroms verändert werden, indem es je nach Schwellungszustand zu einer Verengung oder Erweiterung kommt.

Eccles analysierte in seiner Studie von 1978, dass es unter idealen Bedingungen, also möglichst ohne Einfluss von Umweltfaktoren, zu gleichmäßigen, reziproken Veränderungen des nasalen Widerstandes kommt. Außerdem vermutete und erfasste er eine direkte Beziehung zwischen diesen Veränderungen und einer veränderten Aktivität im Gehirn, speziell im autonomen Nervensystem. Er nahm an, dass die Steuerung des nasalen Zyklus durch den Hypothalamus erfolgt (Eccles 1978). Auch Schlüter beschreibt, dass der Hypothalamus für diese Steuerung verantwortlich ist, indem der Sympathikotonus moduliert wird (Schlüter 2009).

Wenn es nun zu einer Abnahme des Sympathikotonus mit gleichzeitiger Zunahme des Parasympathikotonus kommt, ergibt sich daraus eine Erweiterung der arteriellen Gefäße. Dadurch wird das schwellfähige Gewebe in der Schleimhaut der Nase verstärkt durchblutet. Außerdem erfolgt eine Füllung der Venen im Kavum mit Blut, das aus dem Kapillarbett stammt. Ein Blutabfluss wird nun durch eine Vergrößerung der subendothelialen Muskelpolster verhindert (Drefs 2012). Im Umkehrschluss entsteht die Annahme, dass bei einer Aktivierung des Sympathikus und somit der Zunahme des Sympathikotonus die Durchblutung des Schwellgewebes abnimmt und ein Abschwellen der nasalen Schleimhaut daraus resultiert.

Die Nase sowie die Nasennebenhöhlen werden nicht nur sensibel und sensorisch, sondern auch durch das zuvor genannte autonome Nervensystem innerviert. Der Parasympathikus sorgt bei Aktivierung für eine gesteigerte Drüsensekretion und eine Dilatation der nasalen Blutgefäße. Gegensätzlich dazu verhalten sich die sympathischen Nervenfasern. Hierbei stehen vor allem die vasokonstriktorische Wirkung auf die Gefäße sowie das Herabsetzen der Drüsensekretion im Vordergrund (Paulsen 2015).

Durch eine Zunahme des Sympathikotonus werden Neurotransmitter vom aminergen Typ ausgeschüttet (Riederer et al. 2002). Dies führt zu einer Kontraktion der glatten Muskelzellen und weiter zu einer Drosselung der arteriellen Blutzufuhr in der Schleimhaut. Darüber hinaus fließt mehr Blut aus dem Schwellgewebe ab, da es zu einer Verkleinerung der venösen Muskelpolster kommt. Das Resultat ist ein Abschwellen des Gewebes (Riederer et al. 2002).

Insgesamt unterliegen die arteriellen Gefäße der Innervation von sowohl aminergen als auch cholinergen Nervenfasern (Knipping et al. 2004). In den sympathischen Nervenfasern finden sich vor allem das Neuropeptid Y sowie Noradrenalin. Diese Neurotransmitter sind in erster Linie für die Vasokonstriktion zuständig und sorgen für eine Abnahme des Schwellkörpervolumens. Hierbei wird die postganglionäre Wirkung von Noradrenalin durch Neuropeptid Y verstärkt. Dies geschieht auch durch die Substanz Endothelin, welche ebenfalls zu der Vasokonstriktion beiträgt (Knipping et al. 2004).

Zu den parasympathischen Neurotransmittern, die im Sinne einer Vasodilatation wirken und eine verstärkte Füllung des Schwellkörpergewebes sowie eine Vergrößerung des Volumens hervorrufen, zählen beispielsweise Azetylcholin oder das vasointestinale Peptid. Auch das Calcitonin-gene related peptide kann eine vasodilatatorische Wirkung auf die arteriellen Gefäße ausüben, dasselbe trifft auch für Substanz P und Stickstoffmonoxid zu (Knipping et al. 2004).

Durch körperliche Anstrengung kann es ebenfalls zu einer Aktivierung des Sympathikus kommen. Auf G. Strobels im Jahr 2002 veröffentlichten Erkenntnissen basieren die anschließenden Ausführungen.

Körperliche Belastung sorgt als wichtiger Stimulus dafür, dass es innerhalb des sympathoadrenergen Systems zu einer vermehrten Ausschüttung von Katecholaminen

kommt. Zu dieser Gruppe von Transmittern gehören unter anderem Adrenalin und das bereits erwähnte Noradrenalin, die an diversen Adrenozeptoren ihre Wirkung vermitteln. Sie gehören beide zu den sogenannten „Flight- und Fight“-Hormonen (Strobel 2002: 103) und erhöhen aufgrund ihrer Wirkung schnell die körperliche Leistungsfähigkeit. Weitere Effekte sind zum Beispiel die Gewährleistung einer optimierten Versorgung der Skelettmuskulatur mit Sauerstoff während der körperlichen Arbeit sowie ein gesteigertes Herzminutenvolumen. Durch Strobel wurde außerdem untersucht, inwiefern durch Training und körperliche Aktivität das sympathoadrenerge System beeinflusst werden kann.

Es zeigt sich, dass das Schwellgewebe der Nase einer diffizilen Steuerung durch verschiedene Faktoren unterliegt, welche die Durchgängigkeit beeinflussen. Deren Erforschung ist immer noch im Gange. Da jedoch gerade innerhalb der Nasenschleimhaut durch die vasokonstriktorischen und vasodilatativen Anpassungsvorgänge in den Gefäßen Veränderungen auftreten, ist es naheliegend, den Einfluss von körperlicher Belastung auf die Nasendurchgängigkeit näher zu untersuchen.

1.2 Wissenschaftlicher Hintergrund

1.2.1 Bisherige Erkenntnisse zu dem Einfluss körperlicher Belastung auf die Nase

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit findet im weiteren Verlauf bei Personenbezeichnungen das generische Maskulinum Verwendung. Die entsprechenden Begrifflichkeiten gelten jedoch grundsätzlich für alle Geschlechtsidentitäten im Sinne der Gleichberechtigung. Die Nutzung dieser verkürzten Sprachform beinhaltet keine Wertung.

Mit dem Einfluss körperlicher Belastung auf die Nase haben sich in den vergangenen Jahren nur wenige Autoren und Studien befasst. Nach Literaturrecherche mit PubMed und weiterführender Suche im Rahmen der Literaturdurchsicht konnten bis zur Einreichung dieser Dissertation nur einzelne relevante Studien gefunden werden, aktuellere Untersuchungen mit moderner rhinologischer Funktionsdiagnostik sind kaum vorhanden. Um den bisherigen Kenntnisstand zu erläutern, werden hier Beispiele genannt.

Tabelle 1: Bisherige Veröffentlichungen über den Einfluss körperlicher Belastung auf die Nase (Quelle: eigene Darstellung)

Autor/Jahr	***Titel***
Leykauf 1972	Der Einfluß körperlicher Arbeit auf den Nasenwiderstand bei gut trainierten Sportlern
Baumann u. Masing 1970	Über den Einfluß körperlicher Arbeit auf den Nasenwiderstand
Jayme 1973	Die Bestimmung des nasalen Widerstandskoeffizienten mittels anteriorer Rhinomanometrie nach körperlicher Belastung (sog. MASTER-Test und Fahrradergometrie) bei Probanden mit freier und behinderter Nasenatmung
Dallimore u. Eccles 1977	Changes in Human Nasal Resistance Associated With Exercise, Hyperventilation and Rebreathing

Saketkhoo et al. 1979	Effect of exercise on nasal mucous velocity and nasal airflow resistance in normal subjects
Forsyth et al. 1983	Exercise and nasal patency
Ohki et al. 1987	Effects of Exercise on Nasal Resistance and Nasal Blood Flow
Gehring et al. 2000	Nasal resistance and flow resistive work of nasal breathing during exercise: effects of a nasal dilator strip
Fonseca et al. 2006	Effects of Physical Exercise in Nasal Volume
Krause 2011	Bewirken Lagewechsel und körperliche Aktivität Änderungen des Schwellungszustandes der Nasenschleimhaut bei starken Rauchern?
Aydin et al. 2014	The effects of air pollutants on nasal functions of outdoor runners
Ottaviano et al. 2017	Breathing parameters associated to two different external nasal dilator strips in endurance athletes
Mlynski u. Pirsig 2018	Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie unter besonderer Berücksichtigung physiologischer Aspekte

Im Jahr 1972 erschien Leykaufs Dissertation mit der Fragestellung, inwiefern körperliche Anstrengung den Nasenwiderstand bei Sportlern beeinflusst. Er kam durch seine rhinomanometrischen Messungen zu dem Schluss, dass es unter körperlicher Belastung zu einer Weitung der Nase und einem Abfall des Widerstandskoeffizienten kommt (Leykauf 1972). Dieses Ergebnis wird von Baumann und Masing mit ihrem Artikel des Jahres 1970 unterstützt.

Jayme untersuchte im Jahr 1973 mittels Fahrradergometer-Test und dem sogenannten MASTER-Test – einer Belastungsprüfung – die Anpassung der Nase an veränderte Herz- und Kreislaufverhältnisse sowohl bei gesunden Probanden als auch bei Patienten mit einer pathologischen Nasenatmung durch Anwendung der Rhinomanometrie (Jayme 1973).

1977 gelangten Dallimore und Eccles durch ihre Studie unter Einsatz der Messtechnik Rhinometrie zu der Annahme, dass der Nasenzyklus durch körperliche Anstrengung beeinflusst werden kann (Dallimore et al. 1977).

Saketkhoo et al. kamen in einer Untersuchung aus dem Jahr 1979 mit Hilfe der Rhinometrie ebenfalls zu dem Schluss, dass durch körperliche Anstrengung eine Verringerung des nasalen Widerstandes zustande kommt. In diesem Versuch übten die Probanden (Nichtraucher) körperliche Anstrengung für 20 Minuten auf einem Fahrradergometer aus (Saketkhoo et al. 1979).

Die Annahme, dass es durch körperliche Bewegung zu einer Abnahme des Nasenwiderstandes kommt (gemessen mittels Bodyplethysmographie), wird auch durch Forsyth et al. gestützt. Überdies wurde in dieser Studie analysiert, dass der größte Teil der Abnahme kurz nach Beginn der körperlichen Belastung erfolgt (Forsyth et al. 1983).

Zu ähnlichen Erkenntnissen kamen auch Ohki und seine Kollegen im Jahr 1987. Bei den Probanden ihrer Studie konnte durch die Anwendung der Rhinomanometrie sowohl eine Verringerung des nasalen Widerstandes als auch eine Abnahme des nasalen Blutflusses im Zusammenhang mit körperlicher Anstrengung festgestellt werden (Ohki et al. 1987).

Gehring et al. wandten bei ihren Probanden während körperlicher Belastung auf einem Fahrradergometer verschiedene Nasenpflaster an. Sie stellten mit Hilfe der Rhinomanometrie fest, dass der Nasenwiderstand während der Inspiration und Exspiration sowohl mit als auch ohne Nasenpflaster signifikant sank. Zusätzlich kam es zu einer Steigerung der nasalen inspiratorischen Belüftung (Gehring et al. 2000).

Fonseca et al. untersuchten 2006 die Auswirkungen von körperlicher Belastung auf das nasale Volumen. Als Messmethode diente die akustische Rhinometrie, die im Rahmen eines Fahrradergometer-Tests angewendet wurde (Fonseca et al. 2006).

Juliane Krause befasste sich in ihrer im Jahr 2011 veröffentlichten Dissertation mit den Auswirkungen von Lagewechseln und körperlicher Aktivität – dem Treppensteigen – auf den Zustand der Schwellung bei starken Rauchern. Genutzte Messtechnik war in diesem Fall

die akustische Rhinometrie. Sie kam zu der Erkenntnis, dass sich bei körperlicher Belastung das Nasentotalvolumen vergrößerte, bei Rauchern aber oftmals ein Ungleichgewicht zwischen Sympathikus und Parasympathikus besteht (Krause 2011).

Aydin et al. beschäftigten sich mit dem Einfluss von Luft-Schadstoffen auf die Nasenfunktion bei Läufern. Sie ermittelten mit Hilfe der Rhinomanometrie, dass es durch die sportliche Betätigung zu einer Reduktion des nasalen Widerstandes kommt. Jedoch konnte festgestellt werden, dass die Umwelt eine wichtige Rolle spielt, da sich die Ergebnisse zwischen der ländlichen Umgebung und dem Laufen in der Stadt bei erhöhtem Verkehrsaufkommen und damit höherer Schadstoffbelastung der Luft unterschieden (Aydin et al. 2014).

In der 2017 veröffentlichten Studie von Ottaviano et al. wurde der Einfluss von Nasenpflastern bei körperlicher Anstrengung bei 13 aktiven Triathleten unter Anwendung der Peak-Flow-Messung untersucht. Neben den Messungen mit zwei verschiedenen Nasenpflastern wurde eine Kontrollmessung ohne Pflaster durchgeführt. Nach Bewegung zeigte sich sowohl mit als auch ohne Nasenpflaster eine signifikante Erhöhung des inspiratorischen nasalen Luftflusses im Vergleich zu der Messung vor Belastung (Ottaviano et al. 2017).

Eine wichtige Rolle in Bezug auf die Nasendurchgängigkeit spielt auch der bereits erwähnte Nasenzyklus. Neben dem klassischen Typ des Zyklus ist vor allem der In-Concert-Typ im Zusammenhang mit körperlicher Belastung von Bedeutung. Durch die Bewegung entsteht ein erhöhter Sauerstoffbedarf, der durch eine angepasste und veränderte Nasenatmung gedeckt werden muss (Mlynski u. Pirsig 2018). Ein physiologischer, reziproker Wechsel von rechter und linker Nasenseite ist beim klassischen Typ vorherrschend. Wenn nun durch körperliche Anstrengung ein erhöhter Sauerstoffbedarf vorliegt, wird dies durch einen Übergang in den In-Concert-Typ kompensiert, da die Seite der Nase, die sich in der Arbeitsphase befindet, den Sauerstoffbedarf nicht vollständig decken kann. Bei der Nasenseite in der Ruhephase erfolgt daraufhin ein Übergang in eine Arbeitsphase, damit der Körper durch die veränderte Nasenatmung und den angepassten Nasenzyklus mit ausreichend Sauerstoff versorgt werden kann. Es kann eine Abstufung nach Belastungsintensität erfolgen (Mlynski u. Pirsig 2018).

Der klassische Typ findet in der Regel statt, wenn der Körper sich in Ruhe mit einer Herzfrequenz von 80 bis 90 Schlägen pro Minute befindet. Es wird eine reine Nasenatmung

durchgeführt. Bei vermehrter körperlicher Anstrengung und zudem erhöhter Herzfrequenz kommt es zu Veränderungen des klassischen Typs, bis schließlich durch einen stark erhöhten Sauerstoffbedarf ein Übergang in den In-Concert-Typ notwendig ist. Steigt die körperliche Belastung weiter an, erfolgt schließlich die sogenannte Dekompensation mit Umstellung auf die vollständige Mundatmung, um dem Körper mit dem hohen Maß an benötigtem Sauerstoff zu versorgen (Mlynski u. Pirsig 2018).

Eine Vielzahl von Parametern beeinflusst die Frage, wann die jeweilige Kompensationsstufe erreicht wird und welche körperliche Anstrengung dafür ausgeführt werden muss. Hier kann keine generalisierte Aussage getroffen werden. Grund dafür sind die individuellen Unterschiede der Personen und weitere Faktoren wie beispielweise Alter, Trainingszustand, Geschlecht oder die körperliche Konstitution (Mlynski u. Pirsig 2018).

Im Rahmen eines Fahrradergometer-Versuches mit 21 Probanden mit einwandfreier nasaler Atmung konnte folgendes Ergebnis erfasst werden: Es besteht eine starke Variation des maximalen Gesamtatemstroms während der Inspiration bei gleicher physischer Anstrengung der Testpersonen. Die zuvor genannten extranasalen Faktoren wie zum Beispiel Alter oder Trainingszustand, die sich bei den Studienteilnehmern unterschieden hatten, haben laut den Autoren somit einen nachweisbaren Einfluss auf den Gesamtflow (Mlynski u. Pirsig 2018).

Zusammenfassend kann in der Literatur eine Tendenz – nämlich ein erkennbarer Zusammenhang zwischen körperlicher Belastung und einer Veränderung im Naseninneren – erkannt werden. In der Übersicht über den bisherigen Kenntnisstand fällt jedoch auf, dass es zu dem aktuellen Zeitpunkt keine Untersuchungen gibt, die verschiedene moderne rhinologische Funktionsdiagnostik-Verfahren miteinander kombinieren und den Einfluss körperlicher Anstrengung an einer explizit nasengesunden Probandengruppe erforscht haben.

1.2.2 Extrinsische Einflüsse auf die Nasendurchgängigkeit

Die Nasendurchgängigkeit wird wie zuvor beschrieben durch körperliche Anstrengung beeinflusst. In der folgenden Tabelle findet sich eine Auflistung, in welchen weiteren Bereichen bereits ein Einfluss auf die Nasendurchgängigkeit untersucht wurde.

Tabelle 2: Mögliche Einflussfaktoren auf die Nase (Quelle: eigene Darstellung)

Einflussfaktor	***Autor/Jahr***	***Titel***
Körperpositions-wechsel	Schlüter 2009	Untersuchungen zum Nasenzyklus bei gesunden Probanden, Patienten mit Rhonchopathie und Patienten mit obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom
Lagewechsel und körperliche Aktivität	Krause 2011	Bewirken Lagewechsel und körperliche Aktivität Änderungen des Schwellungszustandes der Nasen-schleimhaut bei starken Rauchern?
Temperaturänderung durch Saunagang und körperliche Aktivität	Schwarz 1998	Rhinomanometrische Untersuchungen zur thermischen Beeinflussung der Nasenventilation
Temperaturänderung durch warmes Wasser	Assanasen et al. 2003	Elevation of the Nasal Mucosal Surface Temperature After Warming of the Feet Occurs Via a Neural Reflex
Temperaturänderung durch kaltes Wasser	Wilde 1999	The effect of cold water immersion on the nasal mucosa
Temperaturänderung durch kaltes Wasser	Schmidt 2016	Aufenthalt im kühlen Wasser – Einfluss der Körperkernabkühlung auf den kalorischen Energie-umsatz und die Motorik der Nasenschleimhaut

Nasenpflaster bei körperlicher Belastung	Gehring et al. 2000	Nasal resistance and flow resistive work of nasal breathing during exercise: effects of a nasal dilator strip
Nasenpflaster bei körperlicher Belastung	Ottaviano et al. 2017	Breathing parameters associated to two different external nasal dilator strips in endurance athletes
Einfluss des Alters während Belastung	Smith et al. 2018	Resistive and elastic work of breathing in older and younger adults during exercise

Schlüter stellte in seiner Dissertation von 2009 fest, dass auch ein Körperpositionswechsel Auswirkungen auf den Schwellungszustand der Nase hat. Er untersuchte dies unter Anwendung der Polysomnographie an drei Gruppen: gesunden Probanden, Patienten mit Rhonchopathie – schnarchende Patienten – und als dritte Gruppe Patienten, die unter obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom litten. Bei diesen Patienten kommt es während des Schlafens zu einem kurzzeitigen Aussetzen beziehungsweise einem Stillstand der Atmung. Schlüter kam zu dem Schluss, dass je nach Körperposition unterschiedliche Schwellungszustände vorkommen und diese sich durch Positionswechsel verändern (Schlüter 2009).

Juliane Krause befasste sich 2011 mit den Auswirkungen von Lagewechseln und körperlicher Aktivität, dem Treppensteigen, auf den Zustand der nasalen Schwellung bei starken Rauchern. Neben ihrer Erkenntnis der Vergrößerung des Nasentotalvolumens bei körperlicher Anstrengung, gemessen mit Hilfe der akustischen Rhinometrie, ergaben ihre Beobachtungen, dass es nach einem Übergang vom Sitzen zum Stehen keine signifikanten Veränderungen gab. Dahingegen kam es nach darauffolgendem achtminütigem Liegen zu einer Verkleinerung des nasalen Volumens (Krause 2011).

1998 wurde durch Gesine Schwarz rhinomanometrisch untersucht, inwiefern hohe Umgebungstemperaturen im Sinne einer Exposition der Probanden für zehn Minuten in einer finnischen Trockensauna die nasale Durchgängigkeit beeinflussen. Zudem wurden vergleichend Messungen vor und nach fünfminütiger körperlicher Anstrengung auf einem

Fahrradergometer durchgeführt. Schwarz stellte fest, dass in beiden Situationen eine ähnliche Wärmewirkung auf den Körper zustande kommt. Sie kam zu dem Ergebnis, dass in einer sehr warmen Umgebung – der Sauna – der Widerstand innerhalb der Nase sinkt und es zu einer Zunahme des Volumenstroms kommt. Dieser vergrößerte Volumenstrom konnte auch nach körperlicher Belastung festgestellt werden (Schwarz 1998).

Assanasen et al. kamen in ihrer Veröffentlichung aus dem Jahr 2003 zu der Erkenntnis, dass durch Erwärmung der Füße Folgen im Bereich der Nase auftreten. Ihre Studie untermauerte die These, dass das Eintauchen der Füße in 42 Grad Celsius warmes Wasser und somit deren Erwärmung zu einem parasympathischen Effekt innerhalb der Nase führt und unter anderem die Sekretionstätigkeit ansteigt (Assanasen et al. 2003).

Die Effekte von kaltem Wasser auf die nasale Mukosa wurden wiederrum von Wilde im Jahr 1999 unter Anwendung der akustischen Rhinometrie untersucht. 17 nasal gesunde Studienteilnehmer tauchten für Zeitperioden von fünf Minuten jeweils die Hand und den Unterarm einer Körperseite in 15 Grad Celsius kaltes Wasser. Wilde kam zu der Erkenntnis, dass durch Eintauchen einer oberen Gliedmaße in kaltes Wasser eine natürliche nasale Obstruktion herbeigeführt werden kann (Wilde 1999).

Beata Schmidt befasste sich in ihrer Dissertation aus dem Jahr 2016 mit der Frage, welchen Einfluss die Körperkernabkühlung auf den kalorischen Energieumsatz und die Motorik der Nasenschleimhaut hat. Hierzu befanden sich deutsche Marinetaucher in 18 Grad Celsius kaltem Wasser. Sie untersuchte, ob durch eine Exposition im kühlen Wasser eine Änderung des Schwellungszustandes der Nase im Sinne einer vermehrten Abschwellung der Nasenschleimhaut herbeizuführen wäre. Sie erfasste in ihren Messungen durch Anwendung der akustischen Rhinometrie und der Rhinoresistometrie, dass die Kaltwasserexposition und die damit einhergehende erniedrigte Körperkerntemperatur den Schwellungszustand des Nasengewebes nicht signifikant beeinflussen. Jedoch konnte durch die Rhinoresistometrie auf eine kälteinduzierte Abschwellung der Nasenschleimhaut geschlossen werden, da sich sowohl der nasale Durchmesser vergrößerte als auch der nasale Widerstand signifikant sank, je niedriger die Körperkerntemperatur wurde (Schmidt 2016).

Neben der Untersuchung von Temperatureinflüssen wurden auch Studien erhoben, die sich mit dem Einfluss von externen Hilfsmitteln – den Nasenpflastern – auseinandersetzten. Eine beispielhafte Studie hierfür wurde von Gehring et al. im Jahr 2000 durchgeführt. Durch Anwendung verschiedener Nasenpflaster während körperlicher Belastung auf einem

Fahrradergometer konnten sie in den Messversuchen nachweisen, dass sowohl in der Kontrollmessung ohne Nasenpflaster als auch beim Versuch mit angebrachten Nasenpflastern bei körperlicher Belastung der inspiratorische und exspiratorische Nasenwiderstand signifikant sank. Als Messtechnik wurde die Rhinomanometrie genutzt. Darüber hinaus stellten sie fest, dass in Folge der körperlichen Betätigung die nasale inspiratorische Belüftung zunahm (Gehring et al. 2000).

Ottaviano et al. erarbeiteten im Jahr 2017 einen Versuch mit 13 aktiven Triathleten als Probanden unter Anwendung der Peak-Flow-Messung. Als Referenzmessungen wurden Werte ohne Anwendung eines Nasenpflasters erhoben und zusätzlich zwei weitere Messungen mit Nasenpflastern zweier unterschiedlicher Marken. Die körperliche Betätigung erfolgte auf einem Laufband. Als Ergebnis zeigte sich nach der Belastung eine Erhöhung des inspiratorischen nasalen Luftflusses – dem Peak nasal inspiratory flow – im Vergleich zu dem Ruhezustand vor den Messungen unter allen drei Bedingungen. Obwohl es kaum eine signifikante Änderung der Messwerte nach Belastung unter Anwendung von Nasenpflastern gab, reduzierte sich das Empfinden der Teilnehmer, bei körperlicher Betätigung nicht genügend Luft durch die Nase zu bekommen (Ottaviano et al. 2017).

Im Jahr 2018 wurde durch Smith und Kollegen untersucht, inwiefern das Alter der Testpersonen Einfluss auf das sogenannte *Work of breathing* während körperlicher Belastung nimmt. Work of breathing beschreibt die physikalische Arbeit, die der Körper während der Inspiration und Exspiration aufwenden muss, um den Widerstand der Atemwege und die Elastizität der Lunge und des Brustkorbs überwinden zu können. Mit zunehmendem Alter nimmt laut Smith et al. der Sauerstoffbedarf der respiratorischen Muskulatur zu, außerdem spielen altersspezifische anatomische Unterschiede eine Rolle (Smith 2018).

Anhand der verschiedenen Studien kann gezeigt werden, dass nicht nur körperliche Belastung selbst Einfluss auf die Nasendurchgängigkeit nimmt, sondern auch verschiedene andere Faktoren relevante Auswirkungen mit sich bringen.

1.3 Ziel der Studie

Wie im Vorangegangenen beschrieben, wurden die Auswirkungen von körperlicher Betätigung auf die nasale Durchgängigkeit in nur wenigen Studien analysiert. Zudem wurde zumeist nur eine einzelne Messmethode eingesetzt. Es handelte sich häufig um die akustische Rhinometrie oder die Rhinomanometrie. Es erfolgte nur selten eine Kombination zweier Messmethoden. In der folgenden Ausarbeitung soll nun untersucht werden, welche Ergebnisse und Erkenntnisse zu der hier untersuchten Fragestellung durch die erstmalig angewandte Kombination der drei objektiven funktionsdiagnostischen Messmethoden akustische Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie erlangt werden können.

Im Fokus der Analyse stehen die Funktionswerte, die bei einer ausgewählten Gruppe an nasengesunden Probanden durch die kombinatorische Anwendung dreier modernster rhinologischer Funktionsdiagnostik-Verfahren ermittelt werden können. Speziell von Interesse ist, welchen Einfluss hierbei Bewegung hat, da sich die teilnehmenden Probanden im Rahmen dieser Studie jeweils insgesamt 30 Minuten auf einem Fahrradergometer bei einer Leistung von 80 Watt körperlich anstrengten.

Für alle Messungen im Rahmen dieser Dissertation wurde das RHINO-SYS-Gerät der Firma Happersberger otopront GmbH verwendet. Die Software dieses Geräts ermöglichte eine graphische Darstellung der Messwerte bei allen drei Messmethoden. Diese Methoden werden im Kapitel *2.4 Messmethoden* genauer erläutert. Das Gerät ist an der Klinik für HNO der Universität Ulm seit 2017 zur Durchführung non-invasiver Messungen im Einsatz.

Es ergaben sich im Rahmen dieser Ausarbeitung die folgenden beiden Fragestellungen:

Kann durch körperliche Belastung eine Änderung der Nasendurchgängigkeit herbeigeführt werden?

Sind Vorteile zur Beurteilung der erlangten Funktionswerte durch die Kombination der drei genannten Messmethoden zu erwarten?

Durch die Fragebögen wurde zusätzlich das persönliche Fitnesslevel der Probanden abgefragt und eine subjektive Einschätzung der Studienteilnehmer über den Zustand vor und nach Belastung vorgenommen. Hierdurch sollte überprüft werden, ob das subjektive Empfinden mit den gemessenen Werten übereinstimmt.

2 Material und Methoden

Sämtliche Daten und Ergebnisse dieser klinisch-prospektiven Studie wurden im Zeitraum von Oktober 2018 bis November 2020 durch die Verfasserin selbst erhoben. Die Ethikkommission der Universität Ulm beriet und genehmigte dieses Projekt mit der Antragsnummer 503/17 im Juni 2018. Gegen die Durchführung der Studie sowie alle genutzten Fragebögen bestanden keine ethischen Bedenken.

2.1 Probandenkollektiv

2.1.1 Auswahl der Probanden

Im Rahmen dieser Studie nahmen 53 Probanden an den Messungen teil, wovon 37 weiblich und 16 männlich waren. Das Probandengut setzte sich teils aus den Mitarbeitern der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie des Universitätsklinikums Ulm, zum Großteil aber aus dem studentischen und persönlichen Umfeld der Verfasserin zusammen.

Da im Jahr 2020 aufgrund diverser Einschränkungen durch die Covid-19-Pandemie die Messungen nicht wie geplant durchgeführt und abgeschlossen werden konnten, wurde die Zahl der Teilnehmenden auf 53 reduziert. In dem 2018 genehmigten Ethik-Antrag wurde eine Probandenzahl von 80 bis 100 angestrebt, welche nun aus Gründen des Infektionsschutzes nicht erreicht werden konnte. Dennoch konnte im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen eine relativ große Stichprobe eingebunden werden.

Alle Probanden wurden im Voraus über den Ablauf informiert. Des Weiteren wurden sie darüber in Kenntnis gesetzt, dass der Versuch jederzeit unterbrochen oder abgebrochen werden könne. Die freiwillige Teilnahme wurde zu Beginn jeder Messung von dem jeweiligen Probanden durch Unterzeichnung einer Einwilligungserklärung bestätigt.

2.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Zur Schaffung einer möglichst einheitlichen Datengrundlage wurden für diese Studie im Vorhinein Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt.

Eingeschlossen wurden Personen zwischen 18 und 70 Jahren ohne eine subjektive Nasenatmungsbehinderung, bei denen zudem keine endonasalen Pathologien, wie beispielsweise eine Deviation des Nasenseptums, vorlagen.

Um zu überprüfen, dass es sich um nasengesunde Probanden handelt, wurde sich an der validierten *Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) Scale* von Stewart et al. aus dem Jahr 2004 orientiert. Diese ermöglicht eine objektive Auswertung der Patientenangaben. 2019 wurde eine deutsche Version des englischsprachigen Fragebogens *(NOSE© Fragebogen)* erstellt, validiert und durch Lindemann et al. publiziert (Lindemann et al. 2019).

Die Probanden erhalten im Rahmen dieser Befragung die Möglichkeit, ihre Beschwerden einzuschätzen und diese können dann in Score-Werte umgerechnet werden. Wählbar ist zwischen den Optionen *kein Problem* (Punktwert 0), *geringes Problem* (Punktwert 1), *mäßiges Problem* (Punktwert 2), *großes Problem* (Punktwert 3) und *schwerwiegendes Problem* (Punktwert 4). Durch Addieren der Punkte und der anschließenden Multiplikation mit dem Faktor 5 kann der sogenannte *NOSE-Score* errechnet werden, welcher sich zwischen 0 und 100 Punkten befindet (Lindemann et al. 2019).

Die angegebenen Werte der Probanden ergaben einen Median von 0 und einen Mittelwert von 5,85, sodass von einer nasengesunden Teilnehmergruppe ohne funktionelle Beschwerden ausgegangen werden konnte.

Von den Messungen ausgeschlossen wurden Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren, Raucher, Schwangere, sowie Personen mit einem errechneten Body-Mass-Index von über 25. Außerdem wurden Patienten mit bekannten kardio-pulmonalen Erkrankungen nicht zur Studie zugelassen.

2.2 Versuchsaufbau und Durchführung

2.2.1 Allgemeines

Freiwillige, nasengesunde Probanden aus der Umgebung und Mitarbeiter der HNO-Klinik wurden im Rahmen dieser Studie zu den Messungen in die Klinik für HNO des Universitätsklinikums Ulm einbestellt.

Die Teilnehmer wurden gebeten, sich auf einem Fahrradergometer körperlich anzustrengen. Da es sich um eine moderate Belastung handeln sollte, wurde die Wattzahl auf 80 festgelegt. Dieser Wert wurde ausgewählt, da diese Anstrengung sowohl für trainierte Teilnehmer und Sportler sehr gut durchzuhalten war, aber auch Personen mit mäßiger bis wenig körperlicher Aktivität im Alltag einer Belastung von 80 Watt ausgesetzt werden konnten. Während der gesamten Aktivitätszeit wurde der Puls der teilnehmenden Personen mit Hilfe eines Fingerclips kontrolliert.

Insgesamt dauerte die Spanne der körperlichen Belastung 30 Minuten, wobei in Intervallen von jeweils zehn Minuten gefahren wurde. Dazwischen wurden die verschiedenen Messungen durchgeführt, weshalb zwischen jedem Belastungsintervall etwa fünfminütige Pausen lagen.

Es wurde darauf geachtet, dass im gesamten Studienverlauf gleiche Voraussetzungen für jede Testperson geschaffen wurden. Dies gelang durch das Einführen eines standardisierten Schemas. Beispiel hierfür war die unmittelbar nacheinander stattfindende Durchführung der verschiedenen Messmethoden akustische Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie, die immer in der gleichen Reihenfolge geschah.

Es ergab sich damit eine Gesamtdauer von etwa 50 bis 60 Minuten pro Untersuchung. Für die körperliche Aktivität wurde ein Fahrradergometer der Marke Milon Industries GmbH, Typ Miha Club Bike, genutzt.



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer nasengesunden Probandin auf dem Fahrradergometer der Marke Milon Industries GmbH im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung)

Um die tatsächliche Auswirkung quantitativ erfassen zu können, wurden in dieser Studie Messungen mit dem 3-Komponenten-Komplettmesssystem RHINO-SYS durchgeführt. Mit dem Gerät der Firma Otopront waren alle der oben genannten Messungen möglich. Diese waren einfach durchführbar, nicht invasiv und sie bereiteten dem Probanden keine Schmerzen.

Das RHINO-SYS Messsystem hat sich in der HNO-Klinik der Universität Ulm zur Diagnostik nasaler Obstruktionen der Nase bewährt und wird häufig angewendet. Die zugehörige Software (Version Beta V 3.72.5.100) befand sich auf dem Notebook. So konnten alle Messergebnisse direkt begutachtet und gespeichert und später zur Auswertung genutzt werden.

Es wurden bei allen Messungen keine schleimhautabschwellenden Mittel eingesetzt. Eine genauere Erklärung der Messungen sowie Beschreibungen der Messmethoden folgen im Verlauf dieser Dissertation.

2.2.2 Ablauf der Studie

Die mitwirkenden Probanden wurden durch das Probandeninformationsblatt sowie mündlich über die exakte Vorgehensweise der Untersuchung und die datenschutzrechtlichen Hintergründe aufgeklärt. Sie bestätigten durch ihre Signatur auf der Einwilligungserklärung die freiwillige Teilnahme an der Studie.

Es erfolgte vorerst im Untersuchungszimmer das Ausfüllen des ersten Fragebogens durch die Testpersonen zusammen mit der Doktorandin. Dieser Vorabfragebogen wurde sehr kurz und einfach gehalten und war für das gesamte Probandenkollektiv leicht verständlich. Jeder Teilnehmer gab einen persönlichen, sechsstelligen Anonymisierungscode an, um eine Zuordnung des Fragebogens zu pseudonymisieren. Die Befragung vor Belastung sollte Aufschluss über Vorerkrankungen und Risikofaktoren sowie über subjektive Nasenbeschwerden geben.

Überdies wurden hierbei durch eine kurze körperliche Untersuchung endonasale Pathologien – wie beispielsweise eine Septumdeviation oder eine Nasenmuschelhypertrophie – mit einem Nasenspekulum und einem Stirnlicht (anteriore Rhinoskopie) ausgeschlossen.

Im Anschluss erfolgte eine subjektive Beurteilung der körperlichen Fitness durch den jeweiligen Probanden. Hierfür wurde der „Bewegungs- und Sportaktivität Fragebogen“ (Fuchs et al. 2015: 75f) genutzt, welcher durch Mitarbeiter der Universitäten Freiburg und Basel gestaltet wurde.

Während des Ausfüllens dieser Fragebögen wurde automatisch eine Akklimatisierung an die Raumluftverhältnisse (Temperatur und Luftdruck) erreicht. Im Anhang sind die Fragebögen vor und nach Belastung dargestellt.

In der folgenden Abbildung 2 wird der Ablauf eines Studiendurchganges ersichtlich.

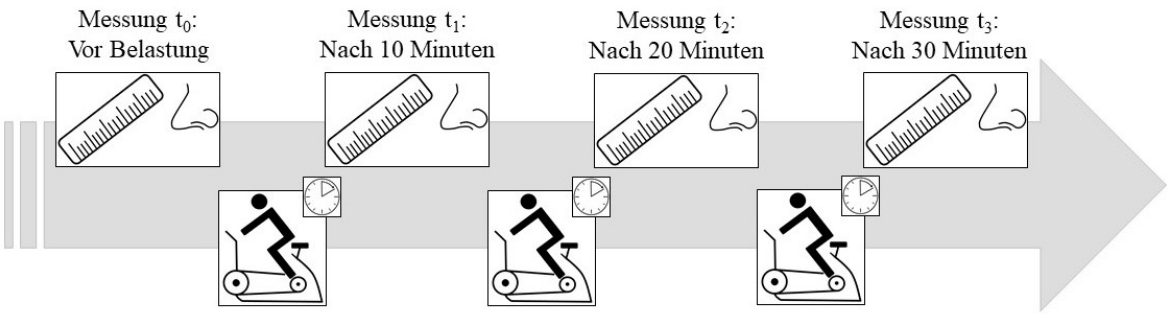

Abbildung 2: Schema des zeitlichen Ablaufes eines Studiendurchganges eines jeden Probanden (Quelle: eigene Abbildung)

Nach Eingabe patientenindividueller Parameter wie Größe und Gewicht der jeweiligen Testperson in die RHINO-SYS-Software sowie des individuellen Anonymisierungscodes und des Geburtsdatums konnte der Versuch gestartet werden.

Zuerst wurde der *Messdurchgang t_0: Vor körperlicher Belastung* mit der akustischen Rhinometrie, der Rhinomanometrie und der Rhinoresistometrie am sitzenden Probanden durchgeführt. Ziel hierbei war die Ermittlung der verschiedenen Parameter im Ruhezustand.

Anschließend strengten sich die Testpersonen auf dem Fahrradergometer bei einer Wattzahl von 80 für eine Gesamtzeit von 30 Minuten an, mit kurzen Pausen von jeweils etwa fünf Minuten für die Zwischenmessungen.

Nach den ersten zehn Minuten wurde das Fahren für den *Messdurchgang t_1: Nach zehn Minuten körperlicher Belastung* unterbrochen, um besagte Zwischenmessung wiederum sitzend durchzuführen. Die Probanden fuhren anschließend weitere zehn Minuten auf dem Fahrradergometer, woraufhin der *Messdurchgang t_2: Nach 20 Minuten körperlicher Belastung* stattfand.

Nachdem die Teilnehmer insgesamt 30 Minuten Fahrzeit auf dem Fahrradergometer absolviert hatten, erfolgte die Endmessung mit dem *Messdurchgang t_3: Nach 30 Minuten körperlicher Belastung*. Während der gesamten Belastungszeit wurde der Puls der Probanden kontrolliert, um eine zu hohe Herzfrequenz gegebenenfalls rechtzeitig zu erkennen und, wenn nötig, den Versuch abbrechen zu können.

Zum Abschluss der Studie erhielten die Probanden einen weiteren Fragebogen zur Beurteilung einer subjektiven Veränderung der Nasendurchgängigkeit während und nach der körperlichen Anstrengung. Es wurde hierbei beispielsweise nach einer subjektiven Erweiterung der Nase oder einer vermehrten Schleimbildung gefragt.

Insgesamt erfolgte die Untersuchung eines Probanden in einem zeitlichen Rahmen von rund 50 bis 60 Minuten.

2.3 Aufbau der Fragebögen

Im Rahmen dieser Studie wurden die Teilnehmer gebeten, insgesamt drei Fragebögen auszufüllen: Den sogenannten *Fragebogen vor Belastung*, auch *Vorabfragebogen* genannt, den standardisierten „*Bewegungs- und Sportaktivität Fragebogen*“ (Fuchs et al. 2015: 75f), kurz „*BSA-Fragebogen*“ (Fuchs et al. 2015: 75f), zur Einschätzung der persönlichen Sportlichkeit und der körperlichen Aktivität im Alltag sowie den *Fragebogen nach Belastung*.

Der *Vorabfragebogen* wurde, wie auch die beiden anderen, pseudonymisiert durch einen von dem Probanden selbst gewählten, sechsstelligen, persönlichen Anonymisierungscode. Des Weiteren wurden hier Geschlecht und Alter der Teilnehmer festgehalten.

Zu Beginn wurde im Rahmen einer anterioren Rhinoskopie das Vorliegen diverser Pathologien der Nase, wie beispielsweise eine äußere Nasenformveränderung oder eine Septumdeviation, ausgeschlossen. Die Ergebnisse dieser kurzen körperlichen Untersuchung wurden auf dem Fragebogen entsprechend vermerkt.

Im Fokus dieser Befragung vor körperlicher Betätigung stand vor allem die Auskunft über Vorerkrankungen wie eine Herz- oder Lungenerkrankung sowie über mögliche Risikofaktoren wie Nikotinabusus. Es wurde zudem bereits kurz auf die sportliche Aktivität eingegangen.

Weiterhin sollten die Probanden an dieser Stelle subjektive Nasenbeschwerden offenlegen. Beispielhaft konnte hier angefügt werden, ob der Teilnehmer ein Schwellungsgefühl oder eine Verstopfung der Nase verspürt. Schwierigkeiten beim Atmen durch die Nase sollten ebenfalls angegeben werden. Es konnte bei Bedarf eine Einschätzung des Ausmaßes durch Skalierung von 1 (geringes Problem) bis 4 (schwerwiegendes Problem) getroffen werden, wodurch sich ein Punktwert ergab.

Bei den Fragestellungen nach dieser subjektiven Bewertung wurde sich an der validierten deutschen Fassung des *Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE©) Fragebogens* orientiert, um die Patientenangaben objektiv auswerten zu können (Lindemann et al. 2019).

Abschließend wurde entschieden, ob der Proband zur Studie zugelassen wurde.

Vor Beginn des *Messdurchgangs t_0: Vor körperlicher Belastung* wurden die teilnehmenden Personen gebeten, den „*Bewegungs- und Sportaktivität Fragebogen*“ (Fuchs et al 2015: 75f) auszufüllen. Dieser wurde von Fuchs und Kollegen im Jahr 2015 neu entwickelt und gibt einen Einblick über die Bewegungsaktivität im Alltag sowie über konkrete sportliche Aktivitäten in den letzten vier Wochen. Der Untersuchende kann so beispielsweise in Kenntnis gesetzt werden, ob die Berufstätigkeit oder Ausbildung des jeweiligen Probanden vor allem sitzende Tätigkeiten, mäßige oder intensive Bewegung umfasst.

Außerdem wird hier Aufschluss über die verschiedenen Alltags- und Sportaktivitäten der letzten vier Wochen gegeben – mit konkreten Angaben, an wie vielen Tagen und etwa wie viele Minuten pro Tag diverse Tätigkeiten ausgeübt wurden. Dies führt zu einer besseren Beschreibung der Probandengruppe. Auf die Frage, ob die Probanden regelmäßig sportliche Aktivität ausübten, antworteten 41 Teilnehmende mit *ja*. Zwölf Personen verneinten dies dahingegen.

Als Abschluss der Teilnahme an den Versuchen sollte der *Fragebogen nach Belastung* durch die Probanden ausgefüllt werden. Hier wurden – wie auch bei den anderen beiden Fragebögen – Anonymisierungscode, Geschlecht und Alter der Testpersonen festgehalten.

Gegenstand dabei war vor allem die Befragung zu subjektiven Veränderungen der Nasendurchgängigkeit während und nach körperlicher Belastung. Es wurde beispielsweise nach einem Schwellungsgefühl oder einer Verstopfung der Nase gefragt, oder ob es zu einer gefühlten Erweiterung der Nase kam. Die Versuchsperson wurde darüber hinaus befragt, ob vermehrte Schleimbildung und ein erhöhtes Bedürfnis, die Nase putzen zu müssen, verspürt wurden. Nach Fertigstellung dieses Fragebogens galt die Untersuchung als beendet.

2.4 Messmethoden

Um eine Schwellungsänderung endonasal zu erfassen, die durch körperliche Aktivität ausgelöst wird, sowie quantifizierbare Aussagen über die Geometrie und den Strömungswiderstand zu erhalten, wurden in dieser Dissertationsstudie drei rhinometrische Messmethoden genutzt. Es handelt sich um die akustische Rhinometrie, die Rhinomanometrie und die Rhinoresistometrie.

Im Folgenden werden die Messmethoden und die daraus resultierenden Ergebnisse mitsamt deren Interpretation nun genauer erläutert.

2.4.1 Akustische Rhinometrie

Die akustische Rhinometrie ist ein Messverfahren zur Erfassung der „Geometrie des nasalen Strömungskanals“ (Otopront 2018) und lässt in die Struktur des Naseninnenraums blicken. Der Untersuchende erlangt so Kenntnis über Ausmaß und Lokalisation von nasalen Engstellen. Eine weitere Möglichkeit der oben genannten Messmethode ist die Bestimmung des „Volumen[s] eines Nasenabschnitts zwischen zwei frei wählbaren Grenzen“ (Enßen 2005: 14).

Im Jahre 1989 wurde die akustische Rhinometrie erstmals durch Hilberg erwähnt (Hilberg et al. 1989). Messprinzip hierbei ist eine „computergestützt[e] Analyse vom Echo nasal applizierter Schallwellen“ (Otopront 2018). Diese Schallwellen werden durch den Tubus in das Naseninnere entsandt. Die entstehenden Reflexionen werden wiederum von einem Mikrofon erfasst und durch eine Software analysiert und ausgewertet. Es erfolgt eine Berechnung der Größe verschiedener Querschnittsflächen im Naseninneren in Abhängigkeit zu der Entfernung von dem Naseneingang am äußeren Nasenloch. Diese Distanz variiert je nach Laufzeit des Reflexionsgeräusches (Mlynski u. Pirsig 2018).

Nach anfänglicher Kalibrierung vor jedem Studiendurchgang wird auf einem langen Akustikrohr ein Nasenadapter angebracht, der entsprechend der Größe des Nasenlochs des jeweiligen Probanden im Voraus ausgewählt wurde. Der passende Nasenadapter ist für eine erfolgreiche Messung essentiell, um eine luftdichte und schalldichte Verbindung zwischen Nasenloch und Adapter zu gewährleisten, hierbei darf es jedoch zu keiner äußeren Verformung kommen. Der Tubus wird in einem Winkel von etwa 45 Grad an die äußere Nase angelegt.

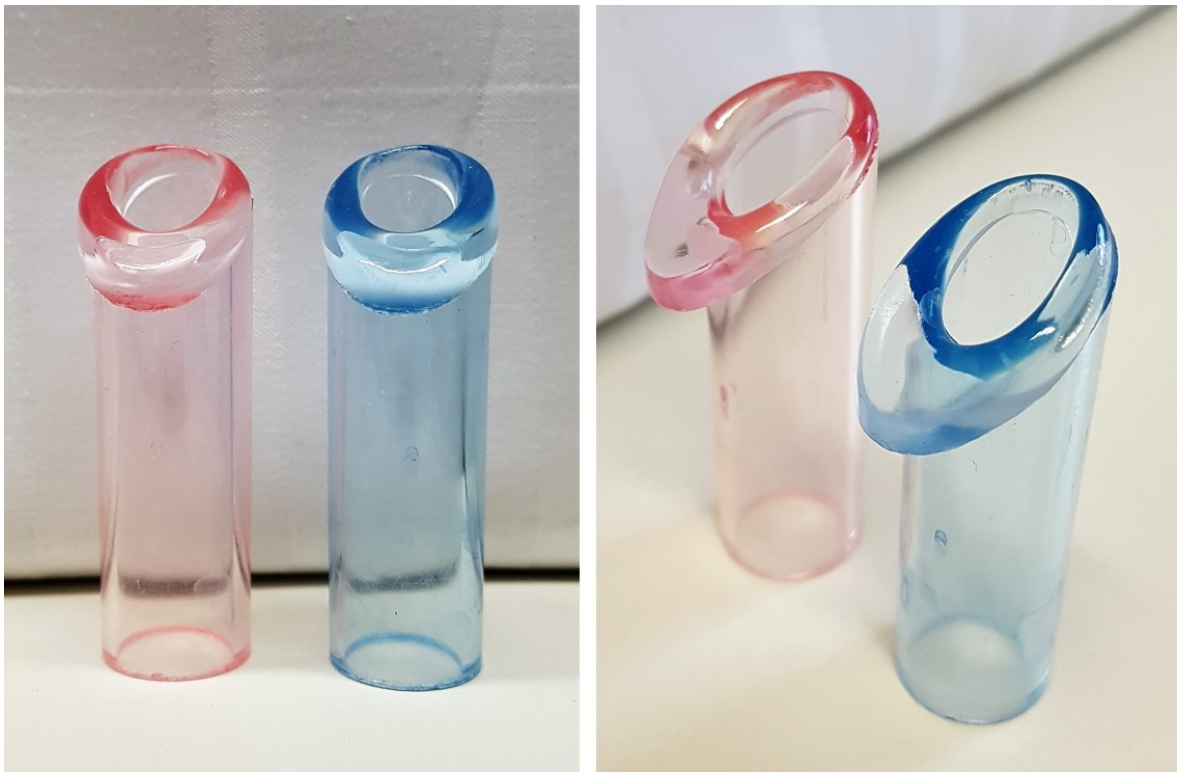

Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der Nasenadapter für die akustische Rhinometrie des Rhino-SYS Messsystems im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung)

Nach Start der Messung werden akustische Signale aus dem Schallrohr in die Nase entsendet, woraufhin es zu einer teilweisen Reflexion dieser Signale kommt. Hieraus ergibt sich – wie bereits zuvor beschrieben – eine Änderung der Amplitude und der Frequenz der Schallwellen, wodurch sich „die Querschnittsfläche des Naseninnenraumes (x-Achse) in Relation zur Entfernung zum Ostium nasi externum (y-Achse) ermitteln“ lässt (Enßen 2005: 14).

Die Probanden wurden gebeten, während der Messung nicht durch die Nase zu atmen und ein Schlucken zu verhindern. Aufgrund der sehr kurzen Messdauer stellte dies kein Problem dar. Die folgende Darstellung (Abbildung 4) zeigt beispielhaft die Durchführung der akustischen Rhinometrie.

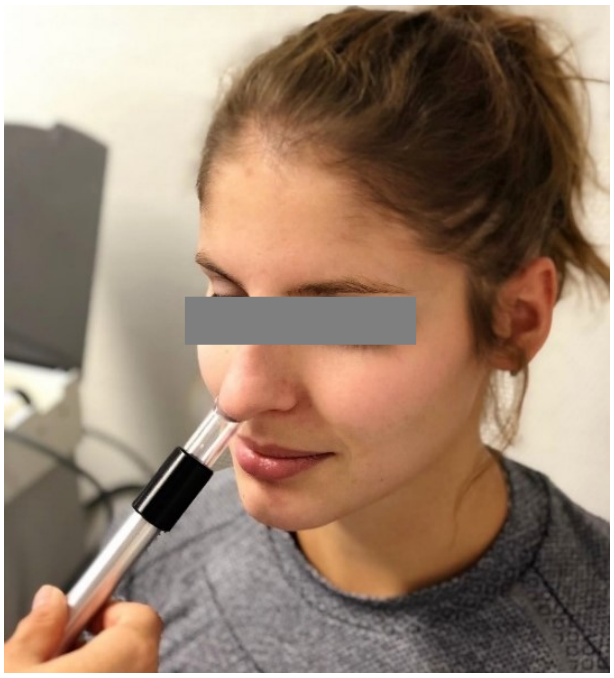

Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung der Durchführung der akustischen Rhinometrie an einer nasengesunden Probandin im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung)

Neben der Erstellung eines Graphen werden die Ergebnisse in der RHINO-SYS-Software auch numerisch präsentiert. In der Abbildung 5, einer beispielhaften Messaufzeichnung, stellt die rote Kurve die Werteverteilung der rechten Nasenseite, die blaue Kurve die Werteverteilung der linken Nasenseite dar. Im Idealfall ergibt sich eine annähernd spiegelbildliche Abbildung beider Kurven.

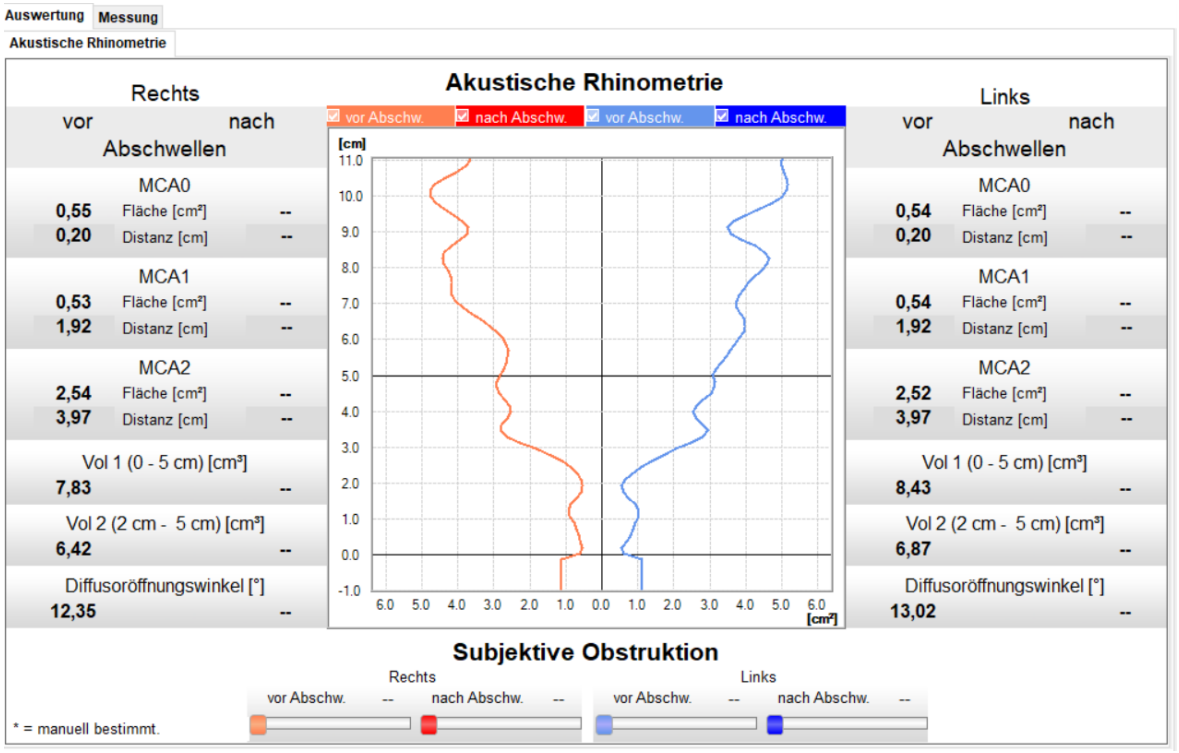

Abbildung 5: Beispielhafte graphische Darstellung der akustischen Rhinometrie in der RHINO-SYS-Software (Version Beta V 3.72.5.100, Otopront GmbH)

(orange: Werteverlauf der rechten Nasenseite, blau: Werteverlauf der linken Nasenseite, MCA: Minimal Cross Sectional Area, Vol: Volumen, cm^2: Quadratzentimeter, cm: Zentimeter, cm^3: Kubikzentimeter)
(Quelle: Screenshot aus der RHINO-SYS-Software der Otopront GmbH. Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Otopront GmbH)

Bei den Messungen sind zwei charakteristische Engstellen des Querschnitts zu erkennen. Zum einen handelt es sich um die *Minimal Cross-sectional Area 1 (MCA 1)* – entstanden durch das Ostium nasi internum – und zum anderen um die *Minimal Cross-sectional Area 2 (MCA 2)*, welche aus dem Septumschwellkörper und der Concha nasalis inferior resultiert (Enßen 2005). Es kann zusätzlich noch die *Minimal Cross-sectional Area 0* differenziert werden, die am Ostium externum liegt (Mlynski u. Pirsig 2018).

Die Werte der *MCA 1* bewegen sich im Normalfall zwischen null und 20 Millimetern Entfernung zu dem Naseneingang, die *MCA 2* liegt in einem Bereich zwischen 20 und 50 Millimetern vom Eingang der Nase entfernt (Ott 2014). Des Weiteren werden bei der akustischen Rhinometrie die Volumina zwischen *MCA 1* und *MCA 2* sowie von *MCA 1* bis zu einer Distanz von fünf Zentimetern ermittelt. Hierbei entspricht das *Volumen 1* dem Volumen der vorderen null bis 20 Millimeter ab dem Naseneingang, das *Volumen 2*

beschreibt das Volumen bei einer Entfernung von 20 bis 50 Millimetern (Ott 2014). Darüber hinaus werden Werte für den Diffusoröffnungswinkel erhalten. Dieser Winkel beschreibt die Öffnung des nasalen Diffusors, der dem vorderen Cavum entspricht (Otopront 2018).

Den physiologisch engsten Abschnitt im Naseninneren stellt die *MCA 1* dar. Die Querschnittsfläche beträgt hier etwa 0,6 cm^2 (Mlynski u. Pirsig 2018). Durch die akustische Rhinometrie werden neben der Lokalisation von Engstellen auch deren Querschnittsflächen ermittelt, um im Zusammenspiel mit den beiden anderen Messmethoden strömungsdynamische Verhalten evaluieren zu können.

Diese Messmethode ist non-invasiv, schnell durchzuführen und wurde von den Probanden sehr gut angenommen.

Im Rahmen der durchgeführten Studienauswertung lag der Fokus der Messwerte der akustischen Rhinometrie auf den Flächenwerten der MCA 1 und MCA 2 in cm^2 sowie auf den Werten der Volumina 1 und 2 in cm^3.

2.4.2 Rhinomanometrie

Die aktive anteriore Rhinomanometrie dient der Messung der nasalen Strömungsgeschwindigkeit (Otopront 2018) und kann zur Bestimmung von Luftstrom, Druck und nasalem Widerstand herangezogen werden (Tombu et al. 2010). Erfasst wird der Luftstrom der Nase sowohl während der Einatmungs- als auch der Ausatmungsperiode (Enßen 2005). Darüber hinaus wird bei der Messung auch der transnasale Druckverlust erhoben, welcher das Ergebnis aus der „Differenz zwischen prä- und postnasalem Druck" (Enßen 2005: 10) ist.

Die gemessene Druckdifferenz zwischen dem Eingang der Nase und dem Nasenrachenraum kann zu dem gemessenen Volumenfluss beim Einatmen wie auch beim Ausatmen in Relation gesetzt werden. Dies wiederum gibt Kenntnis über die Nasendurchgängigkeit (Weigel 2016).

Zur Durchführung der Rhinomanometrie wird eine „Drucksonde mit einem gut haftenden […] Pflaster am Ostium nasi externum der nicht zu messenden Nasenseite angebracht" (Enßen 2005: 10). Durch die Abdichtung kommt es bei dieser Seite zu keinem Luftfluss. Sie funktioniert als erweiterte Druckmesssonde bis zu der Choane. So erfolgt die Erfassung des Choanaldrucks, der wiederum dem postnasalen Druck entspricht (Enßen 2005). Der Nasenadapter darf dabei die Nase nicht verformen (Otopront 2018).

Über eine Atemmaske, an der der Druckschlauch angebracht ist, kann mit einer „spezielle[n], hochempfindliche[n] Messdüse" (Otopront 2018) nun die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden. Diese Maske bedeckt Nase und Mund des Probanden und wird von diesem selbst leicht gegen das Gesicht gedrückt, sodass sie luftdicht abschließt.



Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Durchführung der Rhinomanometrie und der Rhinoresistometrie bei einer nasengesunden Probandin im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung)

Im Anschluss wird der Teilnehmer gebeten, bei geschlossenem Mund einige Atemzüge durch die Nase gleichmäßig ein- und auszuatmen. Hilfreich ist es, wenn der Proband selbst die gemessenen Kurven auf dem Bildschirm des Notebooks mitverfolgen kann, da hier beispielsweise Rückmeldung über die Tiefe der Atmung gegeben wird. Für den Fall, dass diese zu tief oder zu flach ist, kann der Studienteilnehmer selbst schnell reagieren und seine Atmung anpassen.

Die gemessenen Daten werden in einem Koordinatensystem dargestellt. Auf der x-Achse wird der Druck in Pascal angegeben, auf der y-Achse sind die Flow-Werte in Milliliter pro Sekunde zu finden. In den vier Quadranten sind die Inspiration und Exspiration auf der jeweiligen Seite dargestellt. Auch hier wird die rechte Seite wieder in Rot dargestellt, die Kurve der linken Nasenseite erscheint in blau.

Die Kurve für die jeweilige Nasenseite verläuft normalerweise durch den Nullpunkt. Es wird eine spiegelbildliche Anordnung der Kurven beider Nasenseiten angestrebt. Durch diese

Darstellung wird die sogenannte Atemzange sichtbar. Es lässt sich auf eine bessere Nasendurchgängigkeit schließen, je weiter diese Atemzange ist (Enßen 2005).

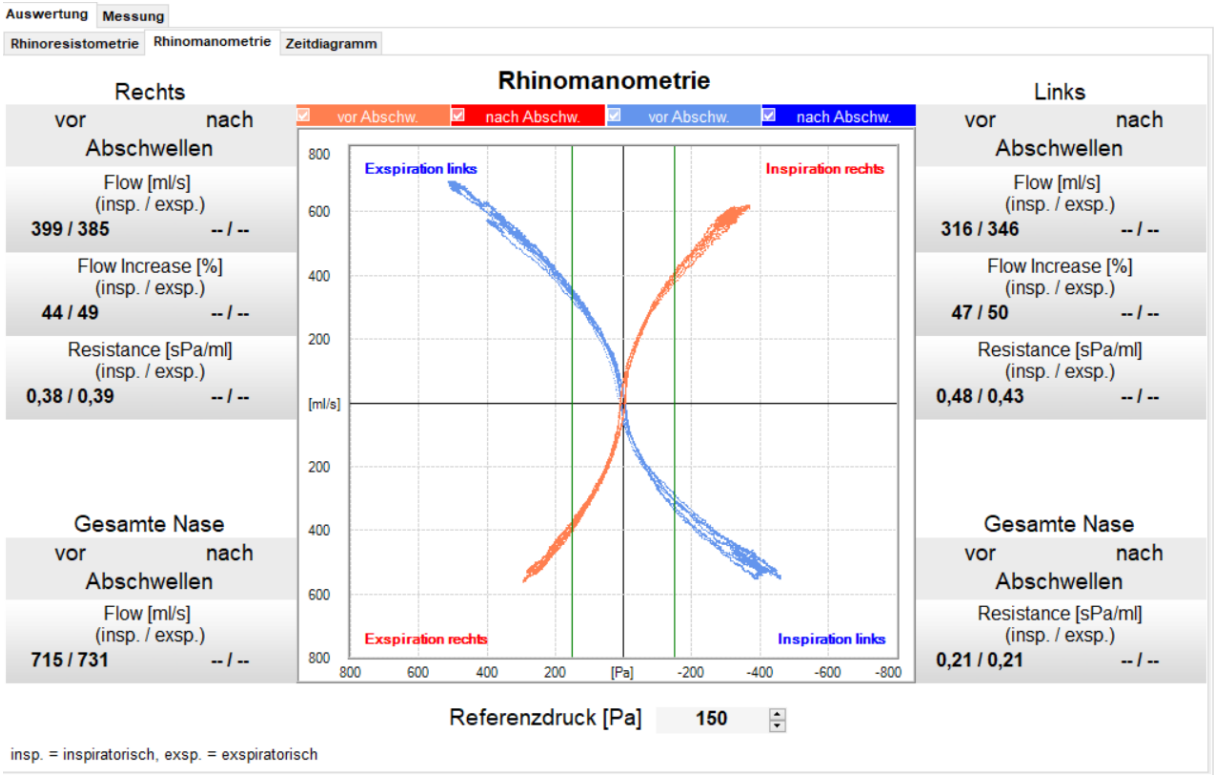

Abbildung 7: Beispielhafte graphische Darstellung der Rhinomanometrie in der RHINO-SYS-Software (Version Beta V.3.72.5.100, Otopront GmbH)

(orange: Werteverlauf der rechten Nasenseite, blau: Werteverlauf der linken Nasenseite, insp.: inspiratorisch, exsp.: exspiratorisch, ml/s: Milliliter pro Sekunde, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter, Pa: Pascal) (Quelle: Screenshot aus der RHINO-SYS-Software der Otopront GmbH. Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Otopront GmbH)

Außerdem ermittelt die Software verschiedene numerische Werte, die eine weitere Bewertung zulassen. Zum einen kommt es zur Berechnung des nasalen Flows sowohl während der Inspiration als auch während der Exspiration für jede Nasenseite. Hierbei liegt ein Referenzdruck von 150 Pascal vor. Mögliche nasale Obstruktionen und ihr Ausmaß können anhand dieses Werts beurteilt werden (Mlynski u. Pirsig 2018).

Zum anderen wird der nasale Atemwiderstand errechnet, durch den ebenfalls nasale Obstruktionen taxiert werden können. Auch hier wird in der Regel mit einem Referenzdruck von 150 Pascal gearbeitet (Mlynski u. Pirsig 2018).

Da es sich um eine kombinierte Messung mit der Rhinoresistometrie handelt, um die Aussagekraft der Rhinomanometrie zu erhöhen, wurde auch diese non-invasive Messmethode durch die Probanden gut angenommen.

In der statistischen Auswertung der erhobenen Daten wurde für die Messmethode Rhinomanometrie das Augenmerk auf die inspiratorischen und exspiratorischen Flow-Werte in ml/s sowie auf die Resistance-Werte während der Inspiration und der Exspiration in sPa/ml gelegt.

2.4.3 Rhinoresistometrie

Diese Messmethode entspricht einer „auf strömungsphysikalischen Gesetzen basierende[n] Weiterentwicklung der Rhinomanometrie“ (Otopront 2018). Einerseits kann die Dimension einer nasalen Obstruktion bewertet werden, andererseits aber auch eine Unterscheidung der strömungsdynamischen Ursachen – wie beispielweise einer skelettalen Verformung oder pathologisches Turbulenzverhalten – stattfinden (Otopront 2018). Analog zur Rhinomanometrie erfolgt die Messung des nasalen Luftstroms wie auch der nasalen Druckdifferenz.

Überdies werden durch die spezielle Software – basierend auf strömungsphysikalische Gesetze – weitere Parameter für jede Nasenhöhle erfasst. Hierbei handelt es sich um das Turbulenzverhalten, den hydraulischen Durchmesser und den Strömungswiderstand (Enßen 2005).

Die Abbildung eines Graphen bietet dem Untersucher die Gelegenheit, einen ersten Eindruck des aktuellen Widerstandes und der Dimension der Schwellung zu erhalten. Durch Aufsetzen der Atemmaske kommt es durch psychische Umstände dazu, dass die Studienteilnehmer tiefer atmen als in Ruhelage notwendig. Hieraus ergeben sich sehr lange Kurvenschenkel (Mlynski u. Pirsig 2018).

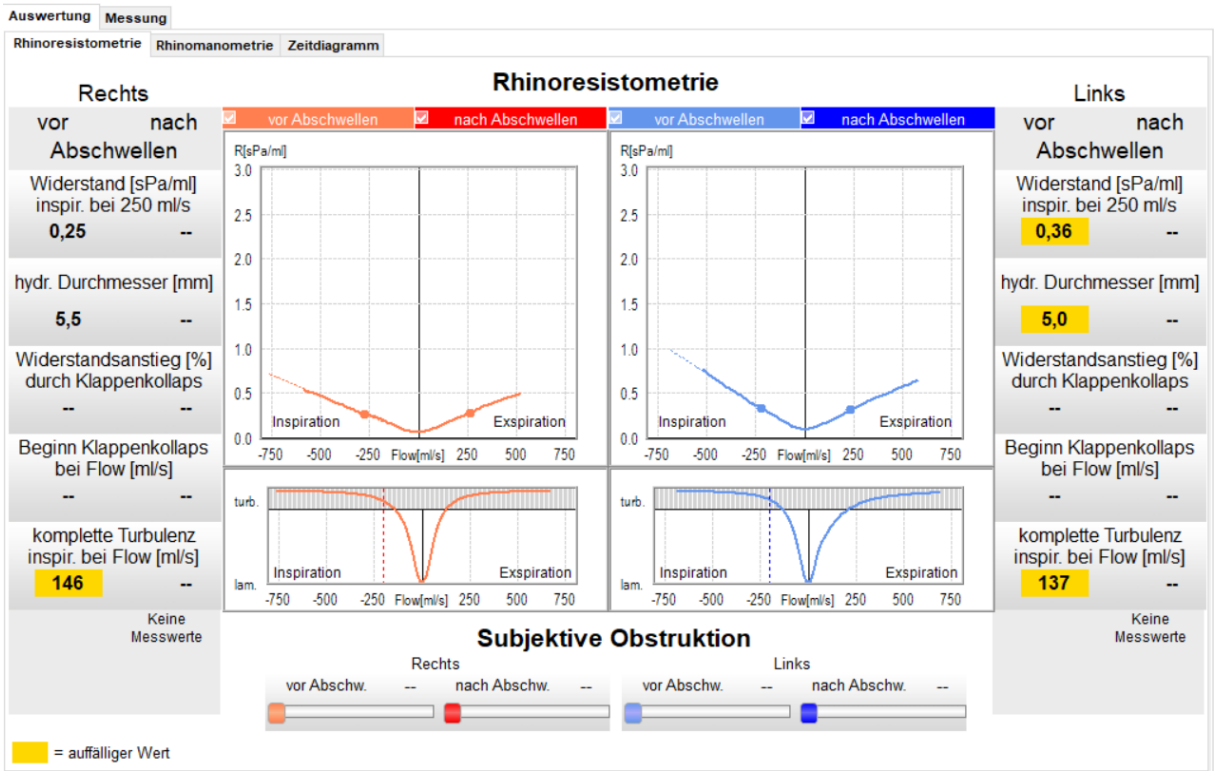

Abbildung 8: Beispielhafte graphische Darstellung der Rhinoresistometrie in der RHINO-SYS-Software (Version Beta V.3.72.5.100, Otopront GmbH)

(orange: Werteverlauf der rechten Nasenseite, blau: Werteverlauf der linken Nasenseite, inspir.: inspiratorisch, hydr.: hydraulisch, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter, ml/s: Milliliter pro Sekunde, mm: Millimeter, R: Widerstand
(Quelle: Screenshot aus der RHINO-SYS-Software der Otopront GmbH. Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Otopront GmbH)

In der Abbildung 8 ist die rechte Nasenseite im linken Diagramm in Rot dargestellt, die Ergebnisse der linken Nasenseite sind im rechten Diagramm in blauer Farbe zu sehen. Es handelt sich im oberen Teilbild um die errechnete Widerstandskurve. Eine Turbulenzkurve wird im unteren Teilbild abgebildet (Otopront 2018). Das Turbulenzverhalten wird abhängig von dem Luftdurchfluss (Flow) in Millilitern pro Sekunde angegeben.

Es besteht die Möglichkeit, dass es einen Übergang von laminarer in turbulente Strömung gibt. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den beiden Strömungsarten ist die Grundlage für die Säuberung und das Anfeuchten jeder Luftschicht und bewahrt die Nase vor Austrocknung (Enßen 2005). Durch die Berechnung des hydraulischen Durchmessers erlangt der Untersuchende Kenntnis über die Weite der Nase. Dieser Parameter „bezeichnet das Verhältnis zwischen durchströmter Querschnittsfläche und Umfang“ (Enßen 2005: 14).

Hierbei kann auch der gesteigerte Verlust von Energie, welcher durch Reibung bedingt ist, berücksichtigt werden (Enßen 2005).

Die Bestimmung numerischer Werte findet auch im Rahmen der Rhinoresistometrie statt. Die Angabe des nasalen Atemwiderstands kann bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 250 Millilitern pro Sekunde in Ruhe erfolgen, wohingegen bei körperlicher Anstrengung ein maximaler Luftfluss von etwa 500 Millilitern pro Sekunde im Durchschnitt notwendig ist (Mlynski u. Pirsig 2018).

Bei moderater physischer Anstrengung werden Flowwerte ermittelt, indem bei einem Gesamtflow von 500 Millilitern pro Sekunde Punkte gesetzt werden und so ersichtlich wird, welche Werte des Luftflusses in beiden Seiten erreicht werden können (Mlynski u. Pirsig 2018).

Die Messung zur Erfassung rhinoresistometrischer Messwerte erfolgt nach der gleichen Vorgehensweise wie bei der Rhinomanometrie. Es wird ebenfalls ein Druckschlauch auf der nicht zu messenden Nasenseite angebracht, der wiederum mit der Atemmaske verbunden ist. Die Maske wird von dem Probanden selbst leicht und luftundurchlässig gegen das Gesicht gedrückt und es werden einige ruhige Atemzüge gemessen. Aufgrund der kombinierten Messmethode kann hier auf Abbildung 6 im Kapitel *2.4.2 Rhinomanometrie* verwiesen werden.

Bei dem Gerät RHINO-SYS der Firma Otopront erfolgen die Messungen der aktiven anterioren Rhinomanometrie und der Rhinoresistometrie gleichzeitig in einem Arbeitsschritt. Dies wurde von den Probanden als angenehm empfunden.

Es erfolgte im Rahmen der statistischen Auswertung der Rhinoresistometrie eine Fokussierung auf die Messergebnisse des inspiratorischen Widerstandes in sPa/ml sowie des hydraulischen Durchmessers in mm für jeweils beide Nasenseiten. Zudem wurden die Ergebnisse der inspiratorischen Turbulenz in ml/s untersucht.

2.5 Statistische Auswertung der gemessenen Ergebnisse

Die primäre Erfassung der erhobenen Daten erfolgte tabellarisch in Microsoft Excel. Neben den erlangten rhinometrischen Messwerten wurden auch die Antworten der Fragebögen integriert. Alle Daten wurden sowohl in Microsoft Excel als auch in den weiteren Auswertungsprozessen ausschließlich in pseudonymisierter Form verwendet. Neben den für diese Studie relevanten Messergebnissen wurden auch weitere Variablen, die nicht Gegenstand vorliegender Studie waren, aber durch die Messungen erhalten wurden, tabellarisch erfasst. Diese könnten bei Bedarf weiteren Untersuchungen und Auswertungen zur Verfügung gestellt werden.

Zur statistischen Auswertung wurden die Datensätze in die IBM SPSS Statistics Software, Version 26, exportiert. Es erfolgte die Erfassung von Alter, Geschlecht, den funktionsdiagnostischen Messwerten der drei bereits erläuterten Messmethoden sowie die Angaben der ausgefüllten Fragebögen.

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden Box-Whisker-Plot-Diagramme – auch als Box Plots bezeichnet – gewählt. Es konnte hierdurch eine übersichtliche und gut verständliche Darstellung, beispielsweise der Änderungen der Messwerte nach Belastung in Bezug auf die Anfangswerte vor körperlicher Betätigung, erreicht werden. Eine deskriptive Darstellung im Sinne von Balkendiagrammen wurde für die Antworten der Fragebögen genutzt. Zur Auswertung der subjektiven Angaben der Studienteilnehmenden wurde unter anderem der in *Kapitel 2.3* beschriebene *NOSE©-Fragebogen* genutzt und hier die entsprechenden Score-Werte ermittelt.

Durch die individuellen Unterschiede der teilnehmenden Probanden sowie deren unterschiedliche anatomischen Voraussetzungen konnte bei vorliegender Studie keine Normalverteilung der Daten angenommen werden. Aus diesem Grund wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test als nicht-parametrischer, statistischer Test angewendet. Im Rahmen dieses Tests können Mittelwerte und Messwerte innerhalb eines Probanden statistisch verglichen und verbundene, abhängige Stichproben analysiert werden. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0{,}050$ festgelegt.

Um mögliche Korrelationen zwischen den metrischen Messergebnissen der drei Messmethoden und ordinalen Daten wie beispielsweise der Häufigkeit sportlicher Aktivität

pro Woche zu untersuchen, wurden die Analysen mittels des Korrelationskoeffizienten Kendalls Tau durchgeführt. Die Überprüfung der Korrelation zwischen verschiedenen Skalenpaaren sollte vor allem im Hinblick auf die Messergebnisse und die Antworten der Fragebögen genutzt werden.

Des Weiteren wurde der Zusammenhang zwischen den metrischen, gemessenen Werten und dem Geschlecht als nominaler Wert mit dem Mann-Whitney-U-Test für unverbundene Stichproben geprüft. Das Geschlecht wurde hierbei als unabhängige Variable genutzt, die Messwerte als abhängige Variable.

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman wurde zur Prüfung möglicherweise zusammenhängender metrischer Datensätze angewendet.

In allen die Korrelation betreffenden Analysen lag das Signifikanzniveau bei $p < 0{,}050$.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse, die durch Anwendung der beschriebenen Methoden zur statistischen Auswertung erlangt werden konnten, dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Probandenkollektiv

Im Rahmen dieser Studie wurden Messdaten von 53 Probanden erhoben, wovon 37 weiblich und 16 männlich waren. Es ergibt sich eine prozentuale Verteilung von 69,8 Prozent weiblichen Teilnehmerinnen und 30,2 Prozent männlichen Probanden. Die Alterspanne der Teilnehmenden erstreckte sich von 20 bis 60 Jahren, wodurch ein Mittelwert von 26,55 Jahren errechnet werden konnte, der Median liegt bei 24,00 Jahren.

Vor Beginn der Untersuchung wurde durch Anwendung des Vorabfragebogens festgestellt, dass es sich um eine funktionell nasengesunde Probandengruppe handelt. Die Score-Werte lagen im Normbereich.

3.2 Deskriptive Analyse und Ergebnisse der akustischen Rhinometrie

Analog des Studienablaufes wird im folgenden Kapitel ebenfalls mit den Ergebnissen der akustischen Rhinometrie begonnen. Wie im *Material und Methoden*-Teil bereits angekündigt, wurde der Fokus auf die Flächenwerte von MCA 1 und MCA 2 in cm^2 gelegt sowie auf die Volumina 1 und 2 in cm^3 beider Nasenseiten.

3.2.1 Ergebnisdarstellung der Werte der Minimal Cross Sectional Areas 1 und 2

Die Veränderungen der Werte MCA 1 und 2 der beiden Nasenseiten werden in den folgenden Graphiken dargestellt. Es wurde jeweils Bezug zu den Werten des *Messdurchgangs t_0: Vor körperlicher Belastung* genommen.

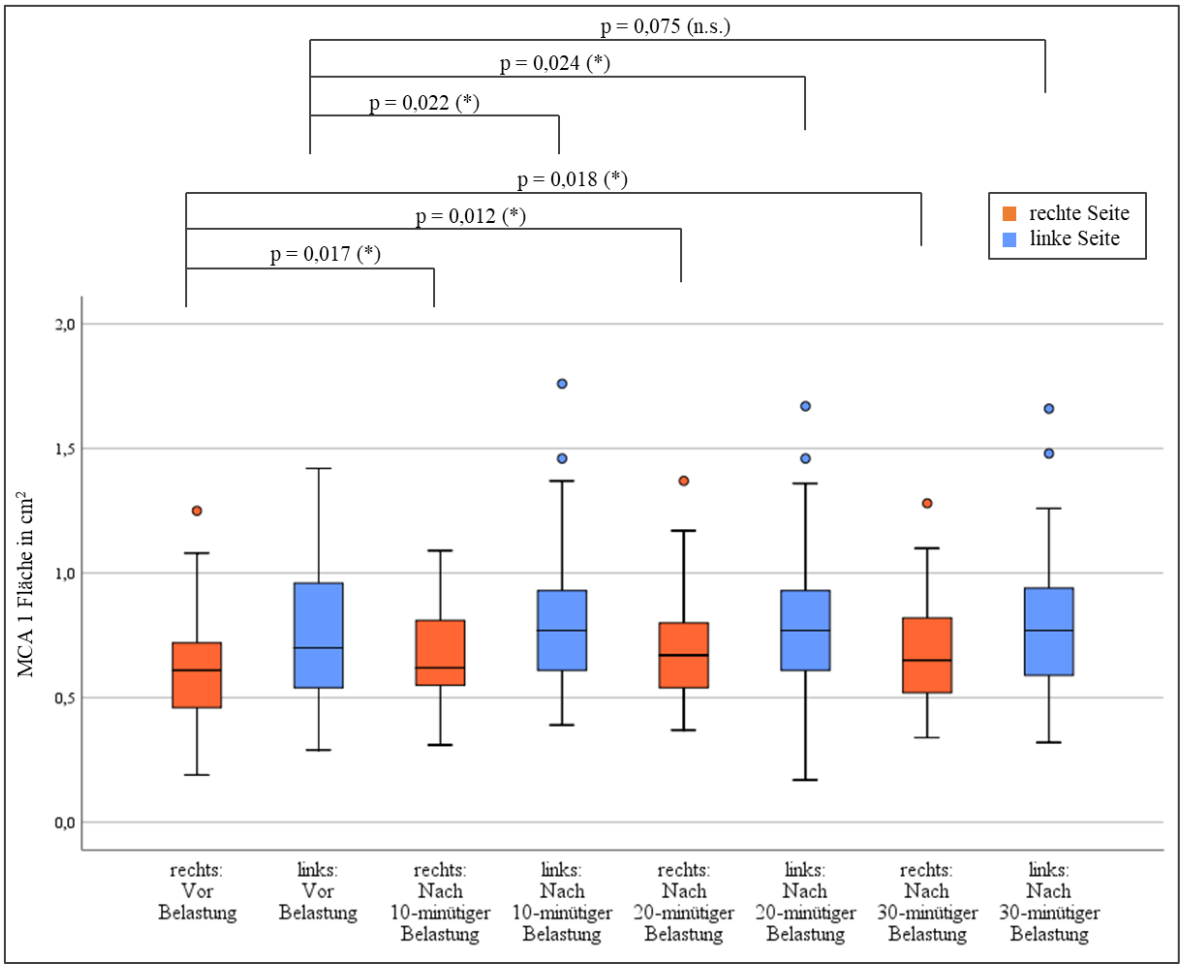

Abbildung 9: Verlauf der MCA1-Flächenwerte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau; Werteverteilung der linken Nasenseite, MCA1: Minimal Cross Sectional Area 1, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, cm^2: Quadratzentimeter)*

Es zeigt sich im Bereich der rechten Nasenseite, dass der Medianwert der Fläche der MCA 1 bei den Messungen t_1, t_2 und t_3 im Vergleich zu der Ausgangsmessung t_0 zunimmt, die p-Werte geben jeweils eine signifikante Vergrößerung an. Die Nullhypothese kann deshalb rechtsseitig zu allen Messzeitpunkten widerlegt werden.

Die Werteverteilung der linken Nasenseite ist ebenfalls der vorausgehenden Box-Plot-Darstellung zu entnehmen. Es zeigt sich eine leichte Erhöhung der Medianwerte der Messungen nach zehn, 20 und 30 Minuten im Vergleich zur Ausgangsmessung, jedoch liegen nicht zu allen drei Messzeitpunkten signifikante Steigerungen vor.

Bei Überprüfung der Nullhypothese zwischen *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* und den Messungen t_1 und t_2 in Bezug auf die linke Nasenseite und den Flächenwert der MCA 1 ergibt sich, dass die Nullhypothese aufgrund der Signifikanz von $p < 0{,}050$ abgelehnt werden kann.

Werden nun die Flächen MCA 1 der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* und der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* auf der linken Nasenseite als verbundene Stichproben genutzt, ergibt sich ein p-Wert von $p = 0{,}075$, wodurch die Nullhypothese beibehalten werden kann.

Nach demselben Prinzip wird auch bei der Betrachtung der Flächenwerte der MCA 2 vorgegangen. In der nachstehenden Abbildung 10 ist die Werteverteilung beider Nasenseiten ersichtlich.

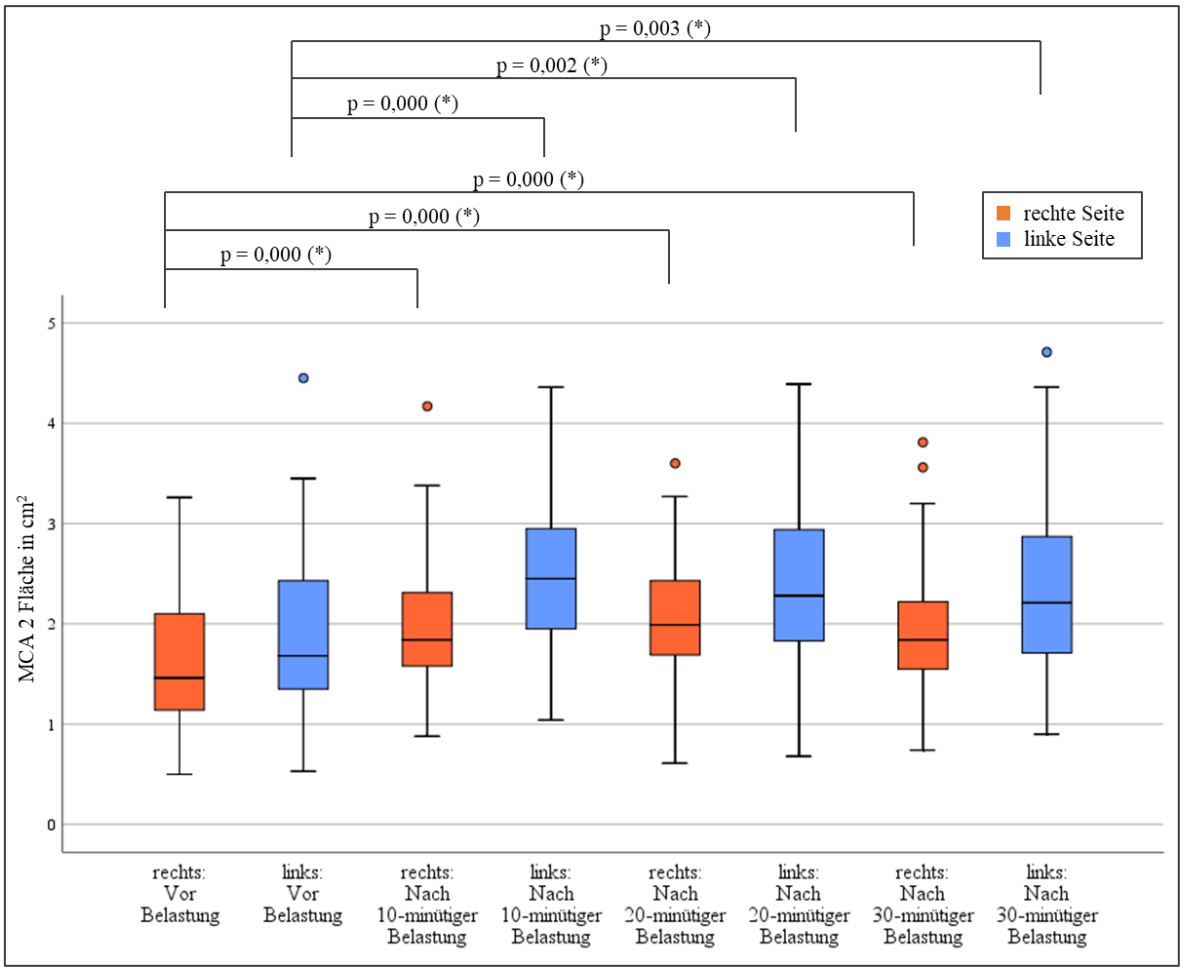

Abbildung 10: Verlauf der MCA2-Flächenwerte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, MCA 2: Minimal Cross Sectional Area 2; *: signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0{,}050$, cm^2: Quadratzentimeter)*

Bei Überprüfung der Nullhypothese für die MCA 2-Flächenwerte der rechten Seite zeigt sich in allen Fällen, dass die Nullhypothese abgelehnt werden kann.

Analog zu diesem Vorgehen wird die linke Nasenseite betrachtet. Im Vergleich zu der Ausgangsmessung t_0 zeigt sich eine Erhöhung der Medianwerte sowie ein Anstieg der Minimum- und Maximum-Werte der Fläche der MCA 2 bei den Messungen t_1, t_2, und t_3.

Der Wilcoxon-Test ergibt zu allen Messzeitpunkten einen p-Wert von unter 0,050 und somit eine signifikante Änderung.

Die Medianwerte der MCA 1 und 2 sind in der Tabelle 3 in *Kapitel 3.2.2* dargestellt.

3.2.2 Ergebnisdarstellung der Werte der Volumina 1 und 2

In enger Korrelation zu den Werten der MCA 1 und der MCA 2 stehen die Volumina 1 und 2 der jeweiligen Seite. Im Nachfolgenden findet sich die Visualisierung der Veränderung des Volumens 1 beider Seiten.

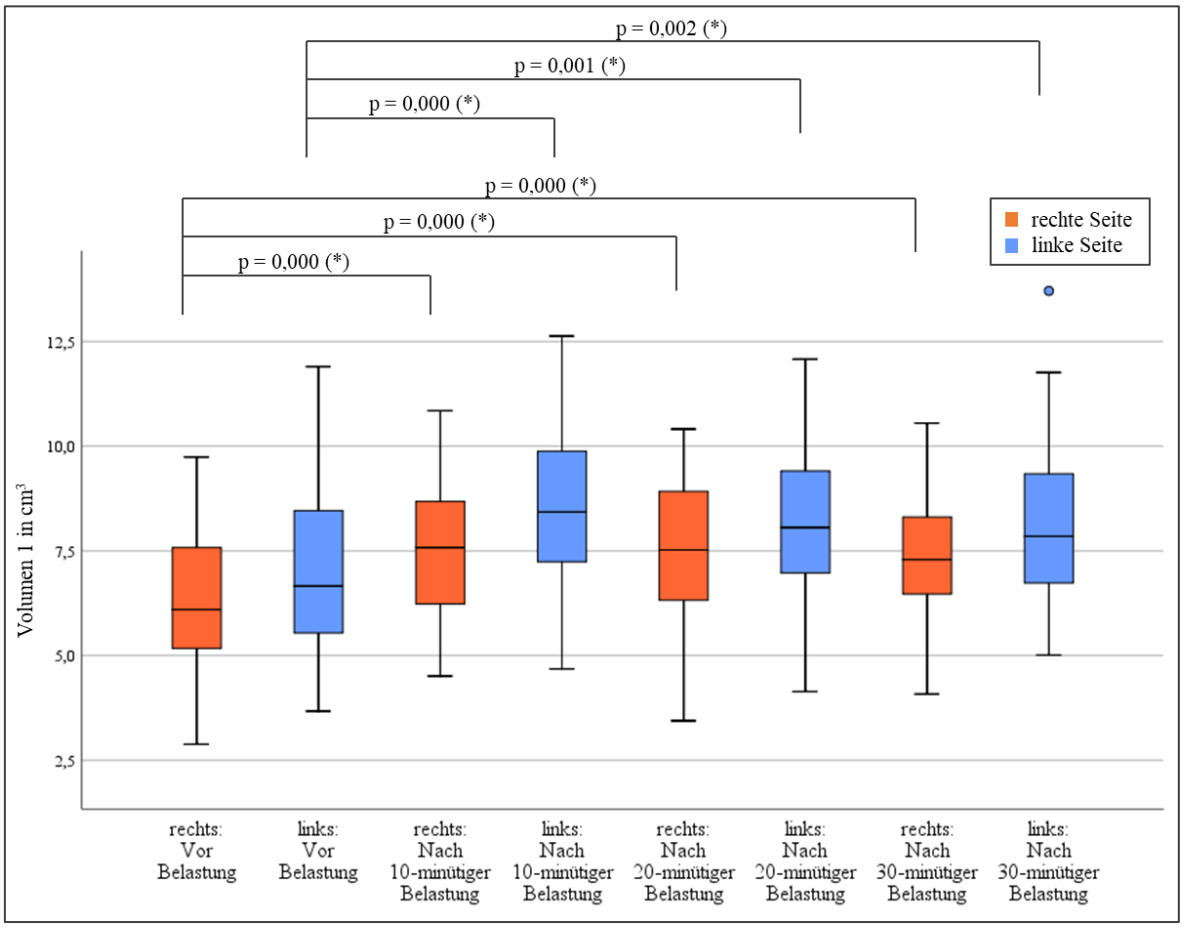

Abbildung 11: Verlauf der Werte des Volumens 1 der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, Volumen 1: nasales Volumen im Bereich 0-5 cm, *: signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, cm^3: Kubikzentimeter)*

Es zeigt sich auf der rechten Seite zu allen Messzeitpunkten eine Zunahme der Medianwerte des Volumens 1 der Messungen nach zehn, 20 und 30 Minuten im Vergleich zur Messung vor körperlicher Aktivität. In allen Fällen kann die Nullhypothese abgelehnt werden, da der p-Wert unter 0,050 liegt.

Eine Vergrößerung der Medianwerte des Volumens 1 der Messungen t_1, t_2 und t_3 auf der linken Nasenseite vergleichend zur *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* lässt sich graphisch ebenfalls gut erkennen. Die Berechnung des p-Wertes führt zu einer Ablehnung der Nullhypothese bei Betrachtung des Volumens 1 der linken Nasenseite zu den Messzeitpunkten t_1, t_2 und t_3.

Nach derselben Vorgehensweise werden die Werte des Volumens 2 analysiert.

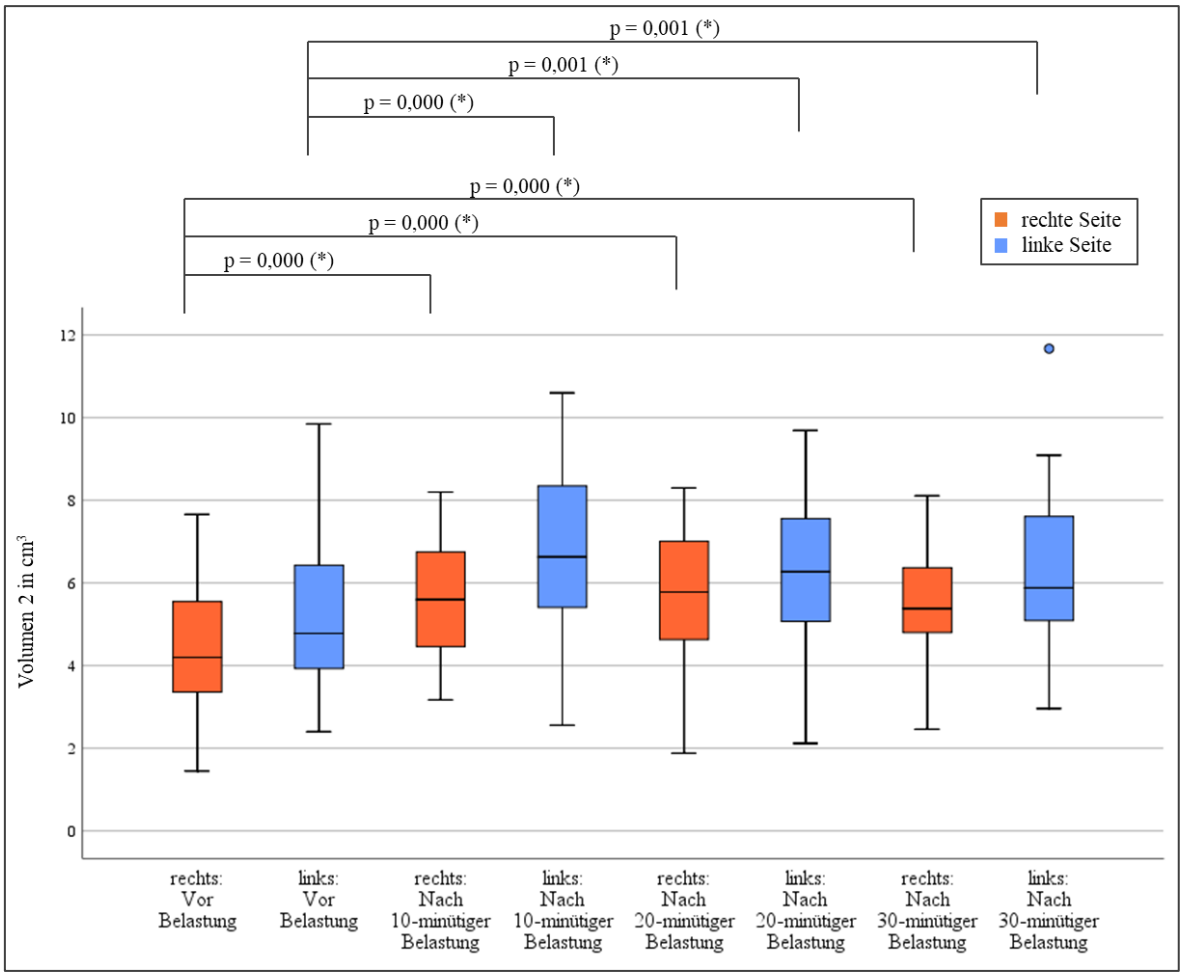

Abbildung 12: Verlauf der Werte des Volumens 2 der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, Volumen 2: nasales Volumen im Bereich 2-5 cm, *: signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, cm^3: Kubikzentimeter)*

Eine Zunahme der Medianwerte des Volumens 2 beider Seiten der Nase wird in der vorangehenden Graphik ersichtlich. Die Steigerung bezieht sich jeweils auf die

Ausgangsmessung vor der Aktivität. Der Wilcoxon-Test zwischen der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* und den Messungen t_1, t_2 und t_3 ergibt in allen Fällen einen p-Wert unter 0,050 und zeigt hierdurch eine signifikante Zunahme auf beiden Nasenseiten.

Zusammenfassend sind in der nachfolgenden Tabelle die Medianwerte der untersuchten Variablen der akustischen Rhinometrie (MCA 1 und 2, Volumina 1 und 2) zu den verschiedenen Messzeitpunkten in Bezug zur Ausgangsmessung vor körperlicher Belastung aufgezeigt. Es erfolgt eine getrennte Darstellung der beiden Nasenseiten.

Tabelle 3: Medianwerte der Variablen der akustischen Rhinometrie mit Angabe einer möglichen signifikanten Korrelation, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(t_0: Messung vor Belastung, t_1: Messung nach 10-minütiger Belastung, t_2: Messung nach 20-minütiger Belastung, t_3: Messung nach 30-minütiger Belastung)

*(MCA 1: Minimal Cross Sectional Area 1, MCA 2: Minimal Cross Sectional Area 2, cm^2: Quadratzentimeter, Volumen 1: nasales Volumen im Bereich 0-5 cm, Volumen 2: nasales Volumen im Bereich 2-5 cm, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, cm^3: Kubikzentimeter)*

		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	MCA 1 [cm^2]	0,61	0,62	*	0,67	*	0,65	*
	MCA 2 [cm^2]	1,46	1,84	*	1,99	*	1,84	*
links	MCA 1 [cm^2]	0,70	0,77	*	0,77	*	0,77	n.s.
	MCA 2 [cm^2]	1,68	2,45	*	2,28	*	2,21	*
		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	Volumen 1 [cm^3]	6,10	7,58	*	7,52	*	7,29	*
	Volumen 2 [cm^3]	4,20	5,60	*	5,78	*	5,38	*
links	Volumen 1 [cm^3]	6,66	8,43	*	8,06	*	7,85	*
	Volumen 2 [cm^3]	4,78	6,63	*	6,27	*	5,88	*

Den Darstellungen ist zu entnehmen, dass der Median der Flächenwerte der MCA 1 sich zu allen Messzeitpunkten im Vergleich zur Messung vor körperlicher Aktivität vergrößert. Dies

ist ebenfalls bei den Flächenwerten der MCA 2 der Fall. Dieses Verhalten ist auf beiden Nasenseiten ähnlich.

Auf der rechten Nasenseite zeigt sich die größte Zunahme der MCA 1- und MCA 2-Medianwerte zu der Ausgangsmessung nach 20 Minuten körperlicher Belastung. Auf der linken Nasenseite fällt dahingegen die größte Zunahme des Medianwertes von MCA 1 und MCA 2 nach zehn Minuten körperlicher Anstrengung auf.

Mit Ausnahme des nicht signifikanten p-Wertes nach Betrachtung der Flächenwerte der MCA 1 für die Ausgangsmessung vor Belastung und der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung*, kann in allen anderen Fällen die Nullhypothese abgelehnt werden. Somit lässt sich auf einen signifikanten Einfluss körperlicher Betätigung auf die Flächenwerte der MCA 1 und MCA 2 schließen.

In der Tabelle sind zudem die Medianwerte der Volumina 1 und 2 der jeweiligen Nasenseite zu den unterschiedlichen Zeitpunkten der Messung in Bezug zur Ausgangsmessung vor Belastung aufgeführt.

Durch Betrachtung der Werte lässt sich erkennen, dass es sowohl nach zehn Minuten körperlicher Anstrengung, als auch nach 20 und 30 Minuten Belastung zu einer signifikanten Vergrößerung beider Volumenwerte (Volumen 1 und Volumen 2) im Vergleich zu dem Ausgangswert kommt. Beide Nasenseiten weisen wiederum ein ähnliches Verhalten auf.

Die Werte des Volumens 1 der *Messung t_1: Nach zehn Minuten Belastung* zeigen die größte Änderung im Vergleich zur *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* auf, dies gilt für rechts und links.

Auf der rechten Seite zeigt sich bei den Medianwerten des Volumens 2 die größte Zunahme zur Ausgangsmessung nach 20 Minuten Belastung, wohingegen links die Änderung der *Messung t_1: Nach zehn Minuten Belastung* am auffälligsten ist.

Für die Volumina 1 und 2 ergeben sich nach allen Messungen verglichen mit der Messung vor Belastung signifikante Änderungen, wodurch die Nullhypothese in jedem Fall abgelehnt werden kann. Es kann deshalb auf einen signifikanten Einfluss körperlicher Belastung auf die Volumenwerte im Naseninneren geschlossen werden.

3.3 Deskriptive Analyse und Ergebnisse der Rhinomanometrie

Bei der Auswertung der erlangten Daten der rhinomanometrischen Messmethode liegt das besondere Augenmerk auf dem inspiratorischen und exspiratorischen Flow bei einem allgemein gültigen Referenzdruck von 150 Pascal in der Einheit ml/s.

Überdies werden die Resistance-Werte bei der Inspiration und der Exspiration auf der jeweiligen Nasenseite sowie der gesamten Nase analysiert.

3.3.1 Ergebnisdarstellung der Werte des Flows bei der Inspiration und Exspiration

Es erfolgt eine Betrachtung der Veränderungen der Flow-Werte in Bezug auf den Ausgangswert vor körperlicher Belastung. Hierbei wurden neben dem Flow der rechten und linken Nasenseiten auch der Gesamtflow gemessen, welcher der Summe aus rechter und linker Nasenseite entspricht.

In der folgenden Ausarbeitung wird mit der Ergebnisdarstellung der inspiratorischen Flow-Werte der Nase zu den jeweiligen Messzeitpunkten in Bezug zur Ausgangsmessung begonnen. Die entsprechenden Medianwerte sind in Tabelle 4 in *Kapitel 3.3.2* dargestellt.

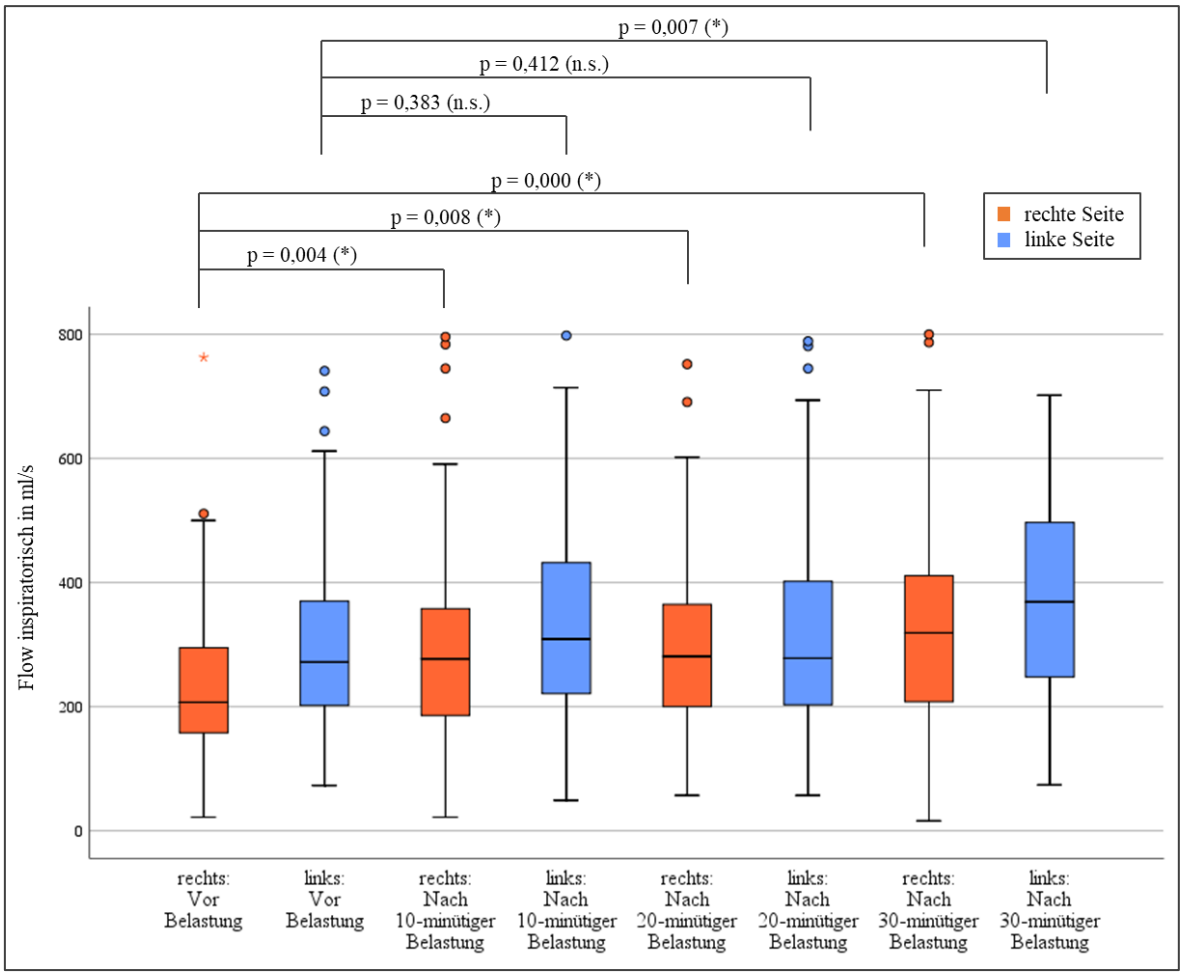

Abbildung 13: Verlauf der Werte des inspiratorischen Flows der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, ml/s: Milliliter pro Sekunde)*

Die Abbildung zeigt eine Vergrößerung der Medianwerte des inspiratorischen Flow-Wertes zu den Messzeitpunkten t_1, t_2 und t_3, verglichen mit der Ausgangsmessung t_0 auf der rechten Seite.

Nach Überprüfung der Nullhypothese zwischen der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* und den nachfolgenden Messzeitpunkten t_1, t_2 und t_3 errechnet sich rechtsseitig jeweils ein p-Wert kleiner als 0,050, wodurch die Nullhypothese in allen Fällen abgelehnt werden kann.

Nach derselben Vorgehensweise wird auch der inspiratorische Flow der linken Nasenseite analysiert. In der vorangehenden Graphik (Abbildung 13) ist eine Darstellung der Werteverteilung ersichtlich.

Der Median des inspiratorischen Flows der Messungen t_1 und t_2 auf der linken Seite verhält sich relativ konstant im Hinblick auf die Messung t_0 vor Aktivität, eine deutliche Steigerung ist hingegen bei der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* sichtbar. Es zeigt sich, dass die Nullhypothese nach Errechnung des p-Wertes zu den Messzeitpunkten t_1 und t_2 beibehalten werden kann. In Hinblick auf die *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* und der Ausgangsmessung vor körperlicher Aktivität erkennt man jedoch eine signifikante Änderung, sodass die Nullhypothese somit abgelehnt werden kann.

Der Verlauf des Gesamtflows wird in der nachstehenden Graphik (Abbildung 14) veranschaulicht.

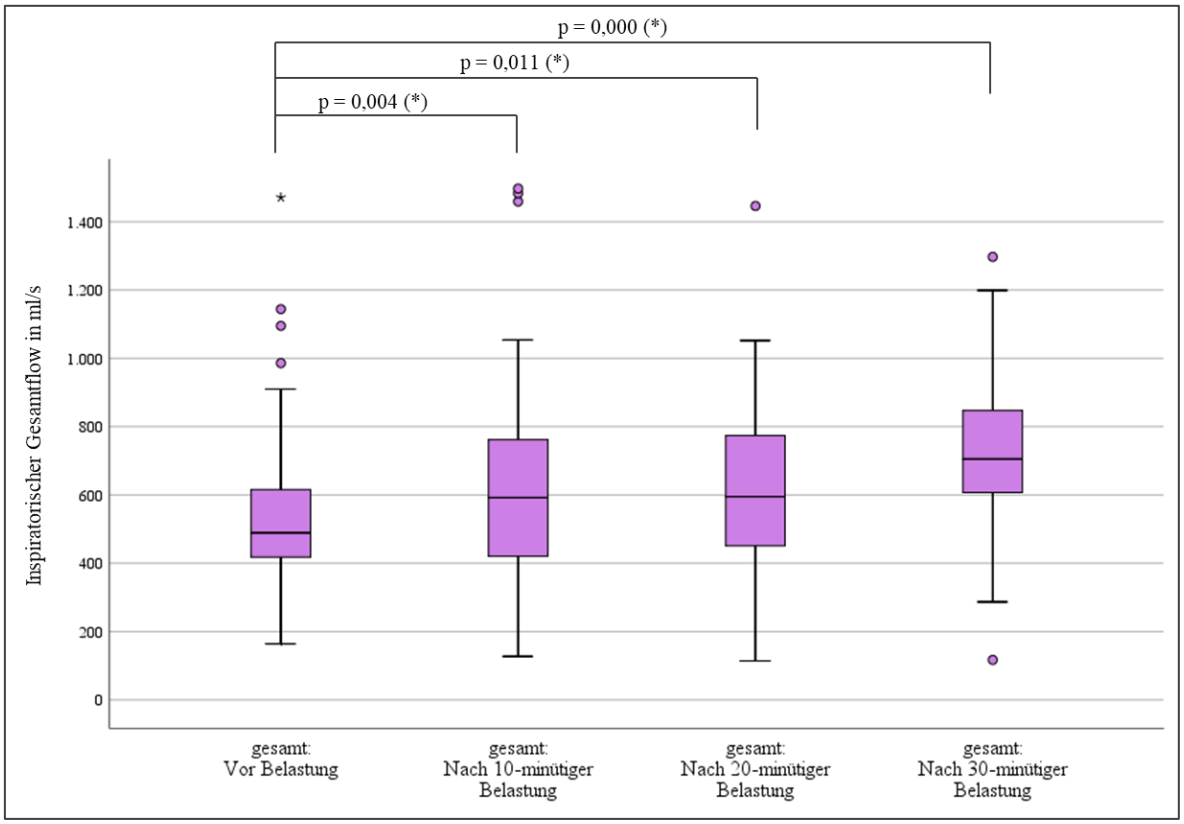

Abbildung 14: Verlauf der Werte des inspiratorischen Gesamtflows mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(: signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, ml/s: Milliliter pro Sekunde)*

Es wird eine Zunahme der Medianwerte des inspiratorischen Gesamtflows der Messungen t_1, t_2 und t_3 hinsichtlich des Wertes der Ausgangsmessung t_0 vor körperlicher Aktivität ersichtlich. Zu allen Messzeitpunkten ist eine signifikante Steigerung durch die angegebenen p-Werte sichtbar.

Für die inspiratorischen Flow-Werte lässt sich abschließend folgende Aussage treffen: Auf der rechten Seite der Nase ergibt sich zu allen Messzeitpunkten eine signifikante Vergrößerung des inspiratorischen Flows im Vergleich zu den Werten der Ausgangsmessung vor Belastung. Dahingegen kann links nur bei Betrachtung der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* eine signifikante Steigerung zur Messung vor körperlicher Aktivität festgestellt werden.

Werden die Ergebnisse des Gesamtflows interpretiert, zeigt sich eine signifikante Zunahme der Werte des inspiratorischen Flows zu allen Messzeitpunkten im Hinblick auf die Ausgangsmessung t_0.

Die Darstellung der Werteverteilung der exspiratorischen Flow-Werte beider Nasenseiten zu den vier Messzeitpunkten erfolgt analog der Visualisierung der inspiratorischen Flow-Werte.

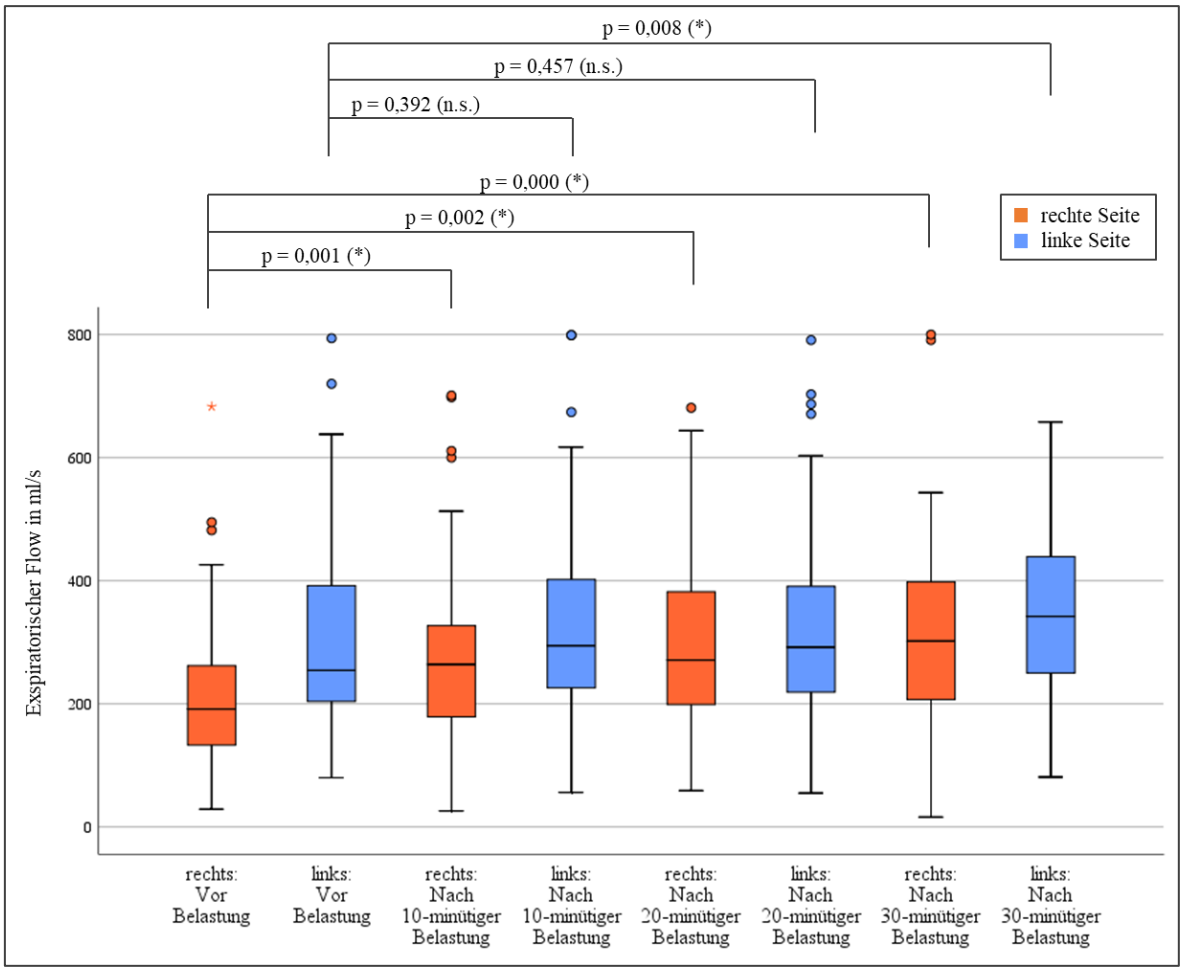

Abbildung 15: Verlauf der Werte des exspiratorischen Flows der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, ml/s: Milliliter pro Sekunde, exspirat.: exspiratorisch)*

Erkennbar ist eine Zunahme der Medianwerte des exspiratorischen Flows der Messungen t_1, t_2 und t_3, vergleichend mit dem Medianwert der ersten Messung vor körperlicher Anstrengung auf beiden Nasenseiten.

Nach Anwendung des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* und den anschließenden Messungen der rechten Seite kann die Signifikanz zu allen Zeitpunkten aufgezeigt werden.

Linksseitig wird ersichtlich, dass sich die Medianwerte der zweiten und dritten Messung des exspiratorischen Flows im Hinblick auf die Ausgangsmessung vor Aktivität nicht signifikant

verändern. Eine signifikante Vergrößerung zeigt sich lediglich bei dem Medianwert der vierten Messung. Dies wird auch durch die errechneten p-Werte bestätigt.

Im Folgenden findet sich eine Ergebnisdarstellung des exspiratorischen Gesamtflows zu den vier Messzeitpunkten (Abbildung 16).

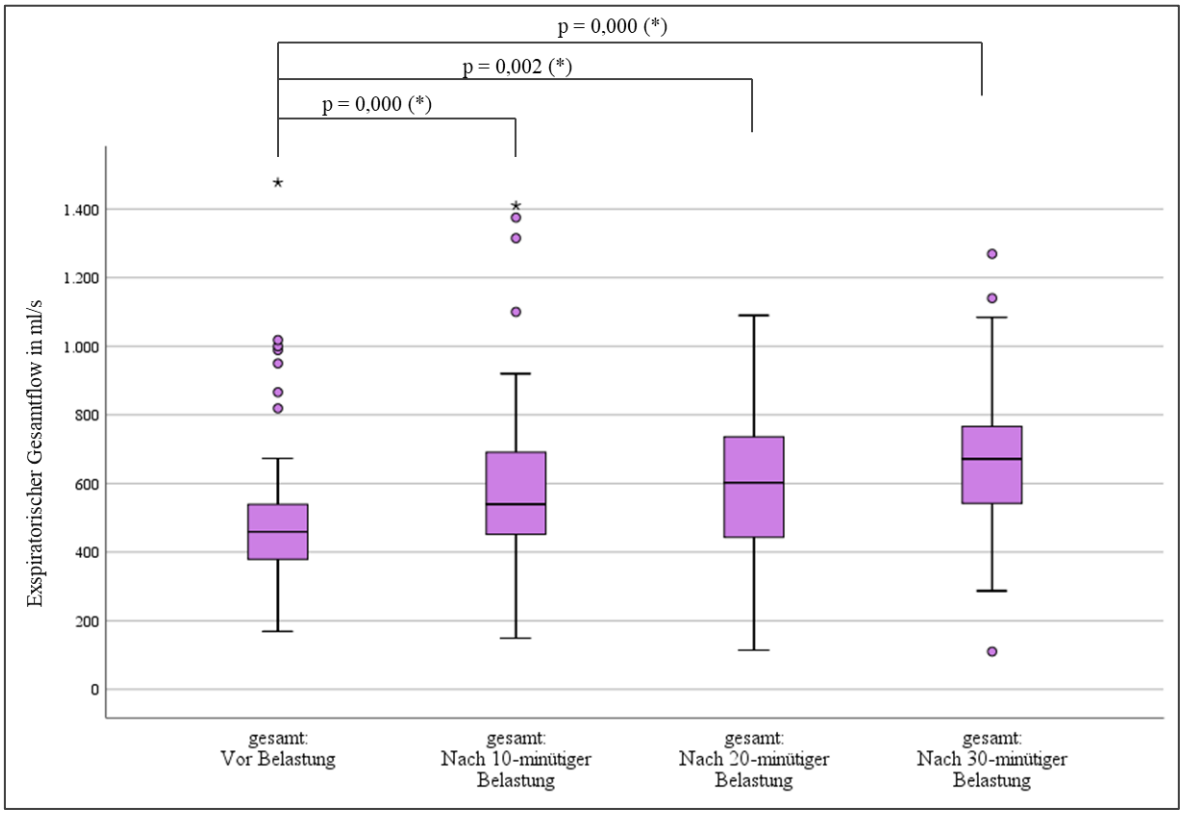

Abbildung 16: Verlauf der Werte des exspiratorischen Gesamtflows mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(: signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, ml/s: Milliliter pro Sekunde)*

Zu sehen ist eine deutliche Zunahme der Medianwerte des exspiratorischen Gesamtflows zu den Messzeitpunkten t_1, t_2 und t_3. Der Bezugswert ist der Medianwert der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung.*

Es ergeben sich zu allen Messzeitpunkten signifikante Steigerungen bezogen auf die Ausgangsmessung t_0. Die p-Werte liegen jeweils unter dem Signifikanzniveau von $p < 0,050$.

3.3.2 Ergebnisdarstellung der Werte der nasalen Resistance der Inspiration und Exspiration

Im Folgenden werden nach Analyse der Flow-Werte die Veränderungen der Resistance-Werte genauer untersucht. Zuerst wird die Werteverteilung während der Inspiration gezeigt.

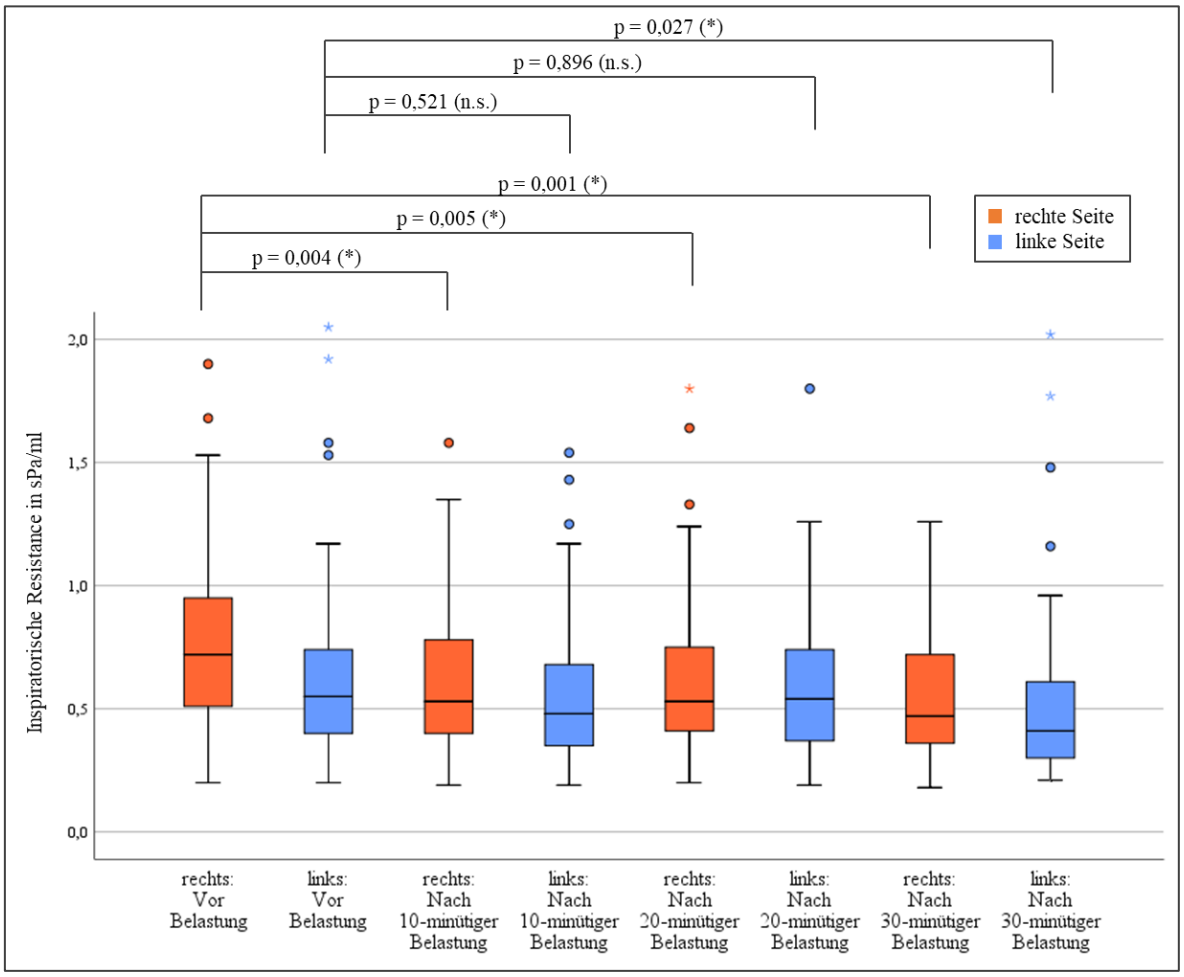

Abbildung 17: Verlauf der inspiratorischen Resistance-Werte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau p < 0,050, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter)*

In der Abbildung wird eine signifikante Abnahme der Medianwerte zu den Messzeitpunkten nach zehn, 20 und 30 Minuten Belastung zum Referenzwert der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* auf der rechten Nasenseite sichtbar.

Nach Betrachtung der Ausgangsmessung und den Messungen zu den Zeitpunkten t_1, t_2 und t_3 ergeben sich in allen Fällen p-Werte unter dem Signifikanzniveau von $p < 0{,}050$. Die Nullhypothese kann somit ebenfalls abgelehnt werden.

Erkennbar ist, dass es bei Betrachtung der Medianwerte der inspiratorischen Resistance der linken Nasenseite bei den Messungen t_1 und t_2 im Vergleich zum Ausgangswert keine deutliche, signifikante Senkung gibt. Der Median der Resistance-Werte der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* ist dahingegen signifikant verringert.

Die Verteilung der Werte der inspiratorischen Resistance der gesamten Nase ist in der nachfolgenden Abbildung visualisiert.

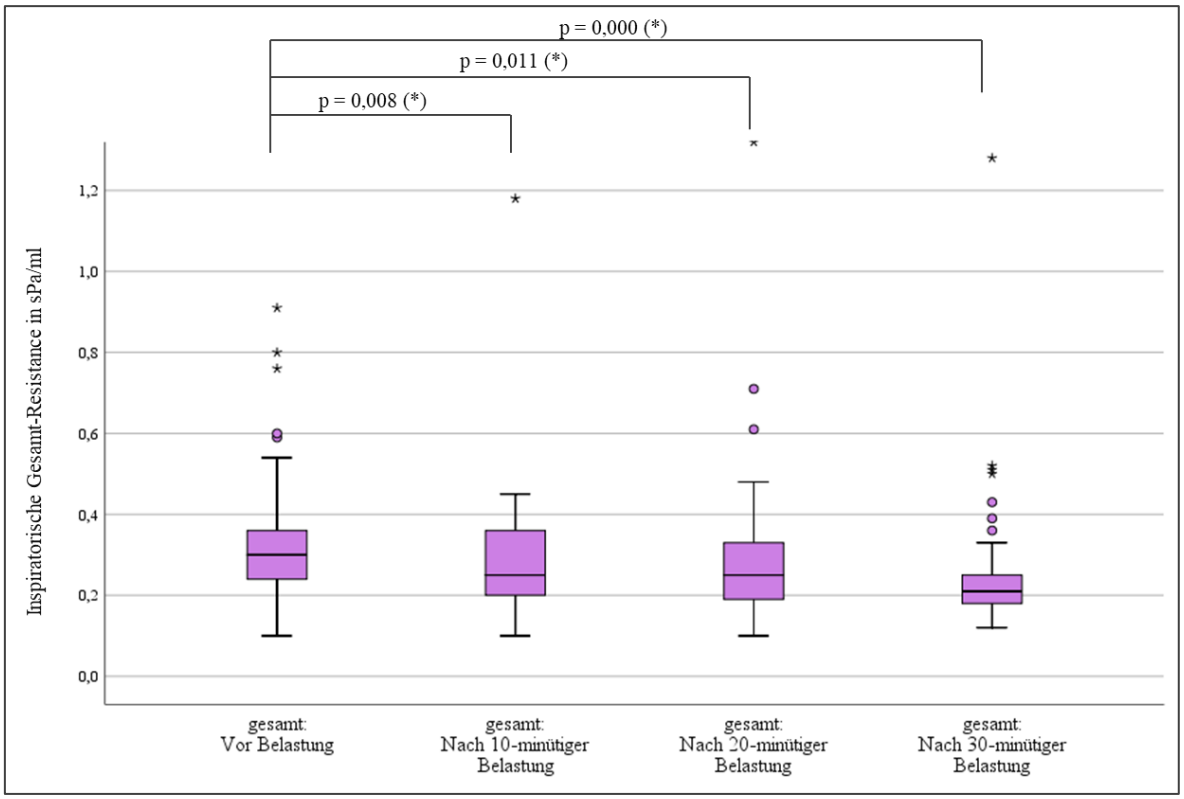

Abbildung 18: Verlauf der Werte der gesamten Resistance während der Inspiration mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(: signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0{,}050$, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter)*

Zu sehen ist eine signifikante Abnahme der Medianwerte der gesamten Resistance während der Inspiration zu den Messzeitpunkten nach zehn, 20 und 30 Minuten im Hinblick auf die

Ausgangsmessung. Nach Anwendung des Wilcoxon-Tests mit der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* und den Werten der nachfolgenden Messzeitpunkte kann die Nullhypothese in allen Fällen abgelehnt werden.

Die Analyse der exspiratorischen Resistance-Werte erfolgt nach derselben Vorgehensweise wie die der inspiratorischen Werte.

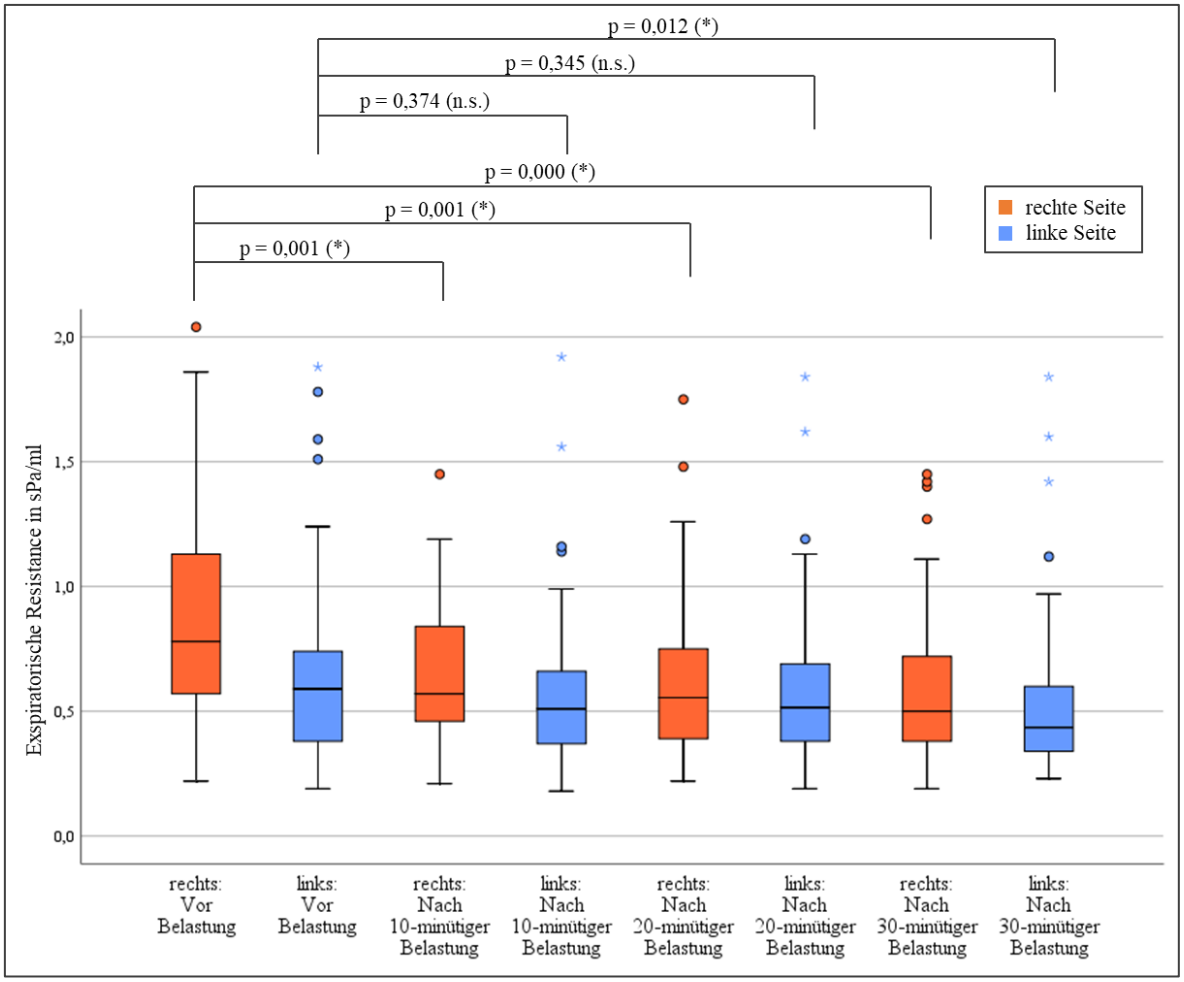

Abbildung 19: Verlauf der exspiratorischen Resistance-Werte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0{,}050$, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter, exspir.: exspiratorisch)*

Es lässt sich auf der rechten Nasenseite eine Abnahme der Medianwerte der Resistance der Messdurchgänge t_1, t_2 und t_3 erkennen, als Referenz wird die *Messung t_0: Vor körperlicher*

Belastung genutzt. Es ergibt sich zu den verschiedenen Zeitpunkten t_1, t_2 und t_3 eine signifikante Änderung der Werte.

Das Box-Whisker-Plot-Diagramm (Abbildung 19) zeigt auch die Werteverteilung der Resistance während der Exspiration auf der linken Nasenseite. Die Medianwerte der exspiratorischen Resistance der Messungen t_1 und t_2 verhalten sich ähnlich wie der Medianwert der Ausgangsmessung. Eine signifikante Verringerung ist hingegen bei der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* ersichtlich, hier liegt der errechnete p-Wert unter dem Signifikanzniveau von 0,050.

In Abbildung 20 wird die Werteverteilung der exspiratorischen Resistance-Werte der gesamten Nase verdeutlicht.

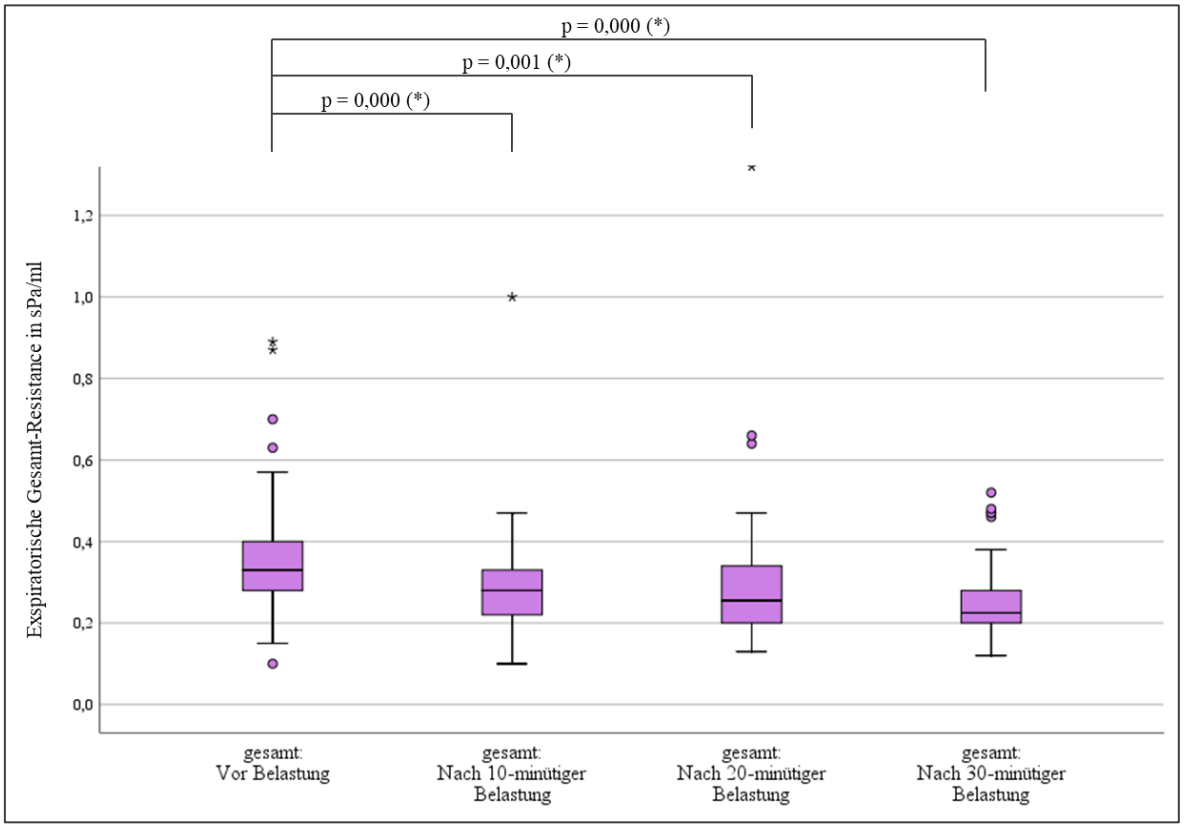

Abbildung 20: Verlauf der Werte der gesamten Resistance während der Exspiration mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(: signifikant, Signifikanzniveau: p < 0,050, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter)*

Es zeigt sich zu allen Messzeitpunkten eine Verringerung der Medianwerte der exspiratorischen Gesamt-Resistance im Hinblick auf die Ausgangsmessung vor Belastung. Die errechneten p-Wert liegen bei $p < 0{,}050$. Die Nullhypothese wird somit zu allen Messzeitpunkten abgelehnt.

Tabelle 4: Medianwerte der Variablen der Rhinomanometrie mit Angabe einer möglichen signifikanten Korrelation, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(t_0: Messung vor Belastung, t_1: Messung nach 10-minütiger Belastung, t_2: Messung nach 20-minütiger Belastung, t_3: Messung nach 30-minütiger Belastung)

(: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0{,}050$, ml/s: Milliliter pro Sekunde, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter, inspirat.: inspiratorisch, exspirat.: exspiratorisch)*

		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	Flow inspiratorisch [ml/s]	208,50	280,00	*	271,00	*	335,50	*
	Flow exspiratorisch [ml/s]	191,50	268,50	*	269,00	*	302,00	*
links	Flow inspiratorisch [ml/s]	278,50	281,00	n.s	270,00	n.s	374,00	*
	Flow exspiratorisch [ml/s]	254,50	289,50	n.s	270,00	n.s	348,00	*
gesamt	Flow inspiratorisch [ml/s]	498,00	610,00	*	589,00	*	715,00	*
	Flow exspiratorisch [ml/s]	466,00	551,50	*	585,00	*	679,50	*
		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	Resistance inspirat. [sPa/ml]	0,715	0,525	*	0,550	*	0,450	*
	Resistance exspirat. [sPa/ml]	0,780	0,560	*	0,560	*	0,500	*
links	Resistance inspirat. [sPa/ml]	0,540	0,530	n.s	0,560	n.s	0,400	*
	Resistance exspirat. [sPa/ml]	0,590	0,520	n.s	0,560	n.s	0,430	*
gesamt	Resistance inspirat. [sPa/ml]	0,300	0,250	*	0,250	*	0,210	*
	Resistance exspirat. [sPa/ml]	0,325	0,275	*	0,260	*	0,220	*

Die dargestellte Tabelle 4 führt die Medianwerte und die Signifikanz des Flows und der Resistance während der Inspiration und der Exspiration sowie in Summe als Gesamtflow beziehungsweise Gesamt-Resistance auf.

Es zeigt sich eine Zunahme der inspiratorischen und exspiratorischen Flow-Werte der rechten Nasenseite zu allen drei Messzeitpunkten im Hinblick auf den Ausgangswert. Diese Steigerungen sind alle signifikant, was durch die p-Werte belegt werden kann.

Wird die linke Nasenseite betrachtet, zeigt sich bei den Flow-Werten der Inspiration und der Exspiration keine signifikante Vergrößerung bei der *Messung t_1: Nach zehn Minuten Belastung* und der *Messung t_2: Nach 20 Minuten Belastung*. Nach 20 Minuten Belastung liegt der Medianwert des inspiratorischen Flows unter dem Ausgangswert vor Belastung. Eine signifikante Änderung der Flow-Werte der linken Seite wird erst bei der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* erreicht.

Die Analyse des inspiratorischen und exspiratorischen Gesamtflows zeigt zu allen drei Messzeitpunkten eine signifikante Vergrößerung der Flow-Werte im Vergleich zur Ausgangsmessung vor Belastung. Die Medianwerte liegen jeweils über dem Ausgangswert vor körperlicher Anstrengung.

Die durchgeführte Untersuchung der Flow-Werte während der Inspiration und der Exspiration lässt aufgrund der errechneten p-Werte auf einen signifikanten Einfluss der körperlichen Aktivität schließen.

In der vorangehenden Tabelle können zudem die Medianwerte der Resistance während der Inspiration und der Exspiration herausgelesen werden. Es sind die Werte beider Nasenseiten getrennt sowie die Werte der Gesamt-Resistance dargestellt.

Auf der rechten Seite zeigen sich sowohl inspiratorisch als auch exspiratorisch zu allen drei Messzeitpunkten signifikante Veränderungen im Vergleich zur Ausgangsmessung vor Belastung.

Linksseitig sind die Medianwerte der Messungen nach zehn und 20 Minuten sowohl während der Inspiration als auch der Exspiration nicht signifikant verringert. Nach 20 Minuten Belastung zeigt sich bei der inspiratorischen Resistance eine leichte Vergrößerung des Medianwertes. Im Gegensatz dazu ist bei der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung*

eine deutliche Abnahme des Medians zu sehen, vergleicht man diesen mit dem Wert vor der Belastung.

Die Auswertung der inspiratorischen und exspiratorischen Gesamt-Resistance-Werte zeigt zu allen drei Messzeitpunkten nach Belastung eine signifikante Verkleinerung der Medianwerte hinsichtlich der Ausgangsmessung vor körperlicher Anstrengung. Somit lässt sich ein Einfluss von körperlicher Aktivität auf den Verlauf der Resistance-Werte nachweisen.

3.4 Deskriptive Analyse und Ergebnisse der Rhinoresistometrie

Im Rahmen der dritten genutzten Messmethode – der Rhinoresistometrie – standen bei der Datenauswertung der nasale Atemwiderstand während der Inspiration in sPa/ml, der hydraulische Durchmesser in mm sowie die Turbulenz während der Inspiration in ml/s im Vordergrund. Die Medianwerte sind in Tabelle 5 in *Kapitel 3.4.3* ersichtlich.

3.4.1 Ergebnisdarstellung der Werte des nasalen, inspiratorischen Widerstandes

Die folgende Visualisierung (Abbildung 21) mittels Box-Whisker-Plots zeigt die Werteverteilung des inspiratorischen nasalen Atemwiderstandes zu den vier verschiedenen Messzeitpunkten auf beiden Seiten der Nase.

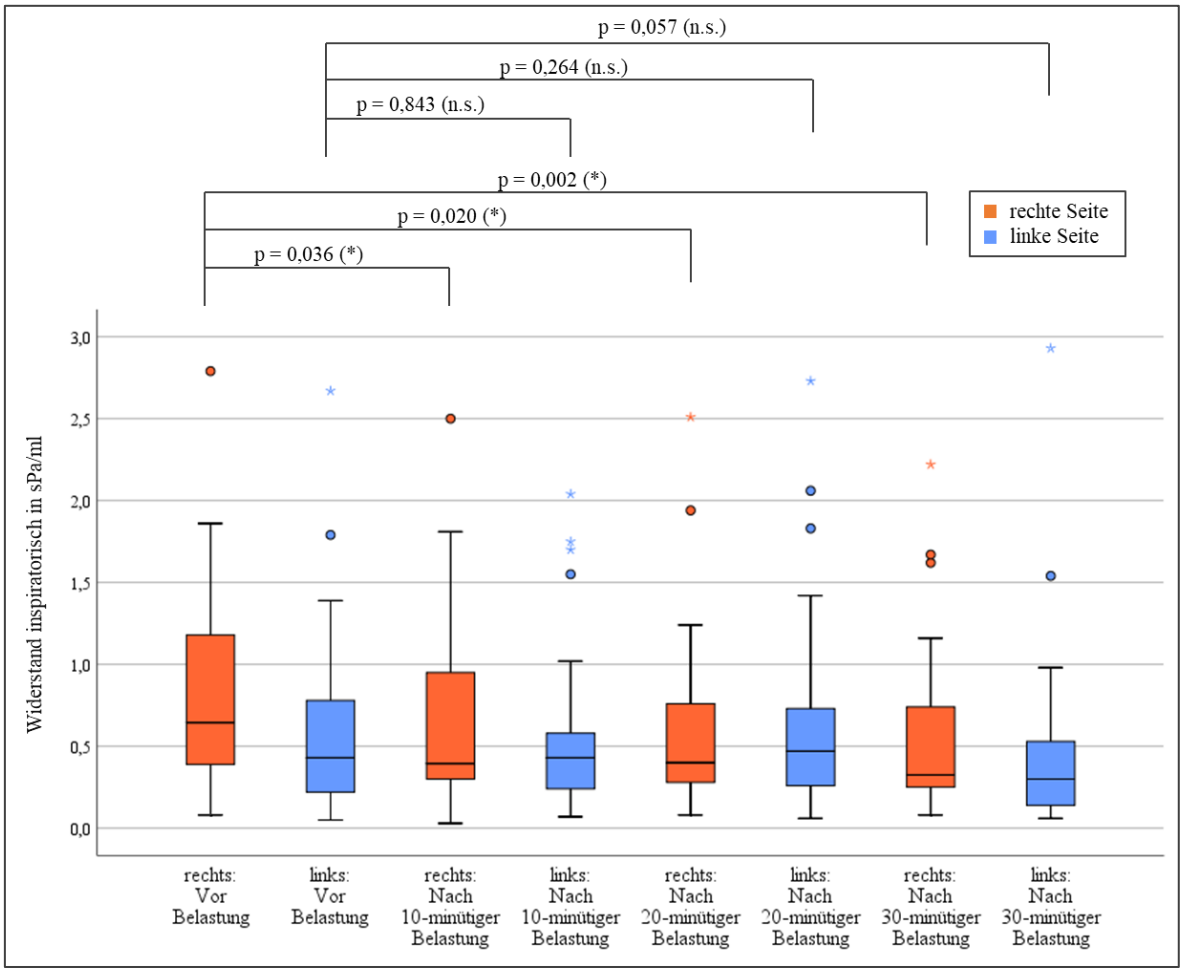

Abbildung 21: Verlauf der inspiratorischen Widerstands-Werte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0{,}050$, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Milliliter)*

In der Darstellung ist erkennbar, dass sich die Medianwerte des Widerstandes auf der rechten Nasenseite zu den Messzeitpunkten nach zehn, 20 und 30 Minuten verringern. Als Referenz wird der Median der Messung t_0 vor körperlicher Anstrengung genutzt. Die p-Werte aller drei Nachfolgemessungen liegen unter dem Signifikanzniveau von $p < 0{,}050$ und somit ist eine signifikante Änderung feststellbar.

Nach analoger Vorgehensweise werden die Werte des inspiratorischen Atemwiderstandes der linken Seite untersucht. Der Verlauf der Medianwerte des inspiratorischen Widerstandes zeigt keine deutlich sichtbare Verringerung der Werte nach zehn, 20 oder 30 Minuten Belastung hinsichtlich des Medians der Ausgangsmessung t_0. Die Anwendung des Wilcoxon-Tests mit den Werten der *Messung t_0: Vor körperlicher Belastung* und den Werten der Nachfolgemessungen ergibt zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Änderung des inspiratorischen Atemwiderstandes.

Somit kann nur ein einseitiger signifikanter Einfluss von Bewegung auf den inspiratorischen Widerstand ermittelt werden.

3.4.2 Ergebnisdarstellung der Werte des hydraulischen Durchmessers

Nach Analyse der Werte des nasalen Atemwiderstandes wird im Rahmen der Auswertung der Rhinoresistometrie mit der Untersuchung der Werte des hydraulischen Durchmessers fortgefahren.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Werteverteilung der beiden Nasenseiten zu den vier Messzeitpunkten ersichtlich.

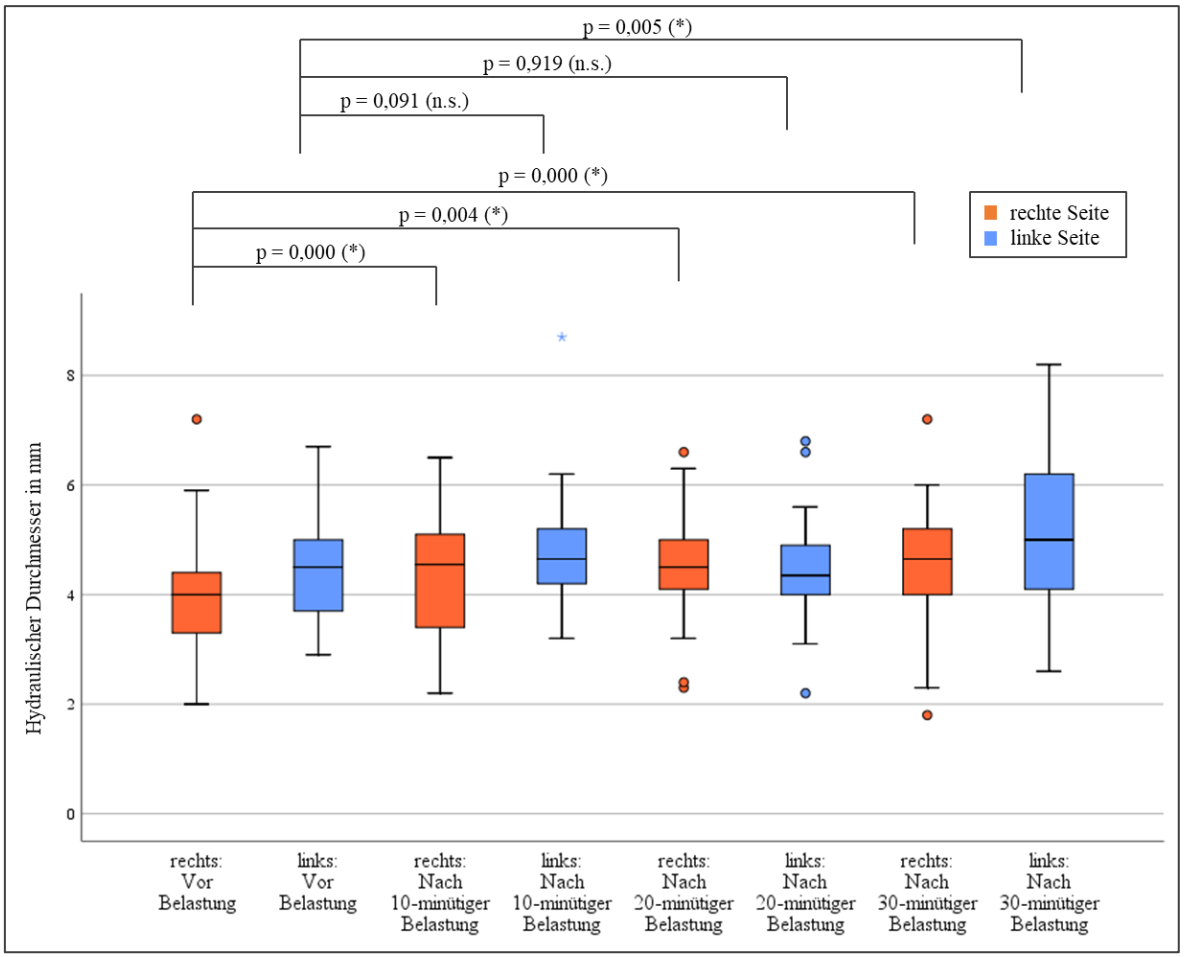

Abbildung 22: Verlauf der Werte des hydraulischen Durchmessers der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

*(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, *: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, mm: Millimeter)*

Zu erkennen ist rechtsseitig eine Zunahme des Medians des hydraulischen Durchmessers zu den jeweiligen Messzeitpunkten nach Belastung. Als Referenzwert gilt der Median der

Messung t_0: Vor körperlicher Belastung. Nach Betrachtung der Werte der Ausgangsmessung vor Aktivität und den Messungen t_1, t_2 und t_3 kann die Nullhypothese jeweils aufgrund einer signifikanten Änderung abgelehnt werden.

Nach demselben Vorgehen wird auch die linke Nasenseite untersucht. Eine deutliche Zunahme des Medianwertes des hydraulischen Durchmessers zu der Messung vor Belastung ist nur bei der *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* erkennbar. Die Mediane der Messungen t_1 und t_2 zeigen keine signifikante Änderung. Somit wird die Nullhypothese auch nur in Bezug auf Messzeitpunkt t_3 abgelehnt, bei den vorausgehenden Messungen t_1 und t_2 wird diese beibehalten.

Es kann somit nicht zu allen Messzeitpunkten ein signifikanter Einfluss körperlicher Anstrengung auf den hydraulischen Durchmesser auf beiden Nasenseiten festgestellt werden.

3.4.3 Ergebnisdarstellung der Werte der kompletten Turbulenz inspiratorisch

Im Rahmen der rhinoresistometrischen Messmethode wurden Messwerte der kompletten Turbulenz während der Inspiration bei einem Flow-Wert von 250 Millilitern pro Sekunde ermittelt.

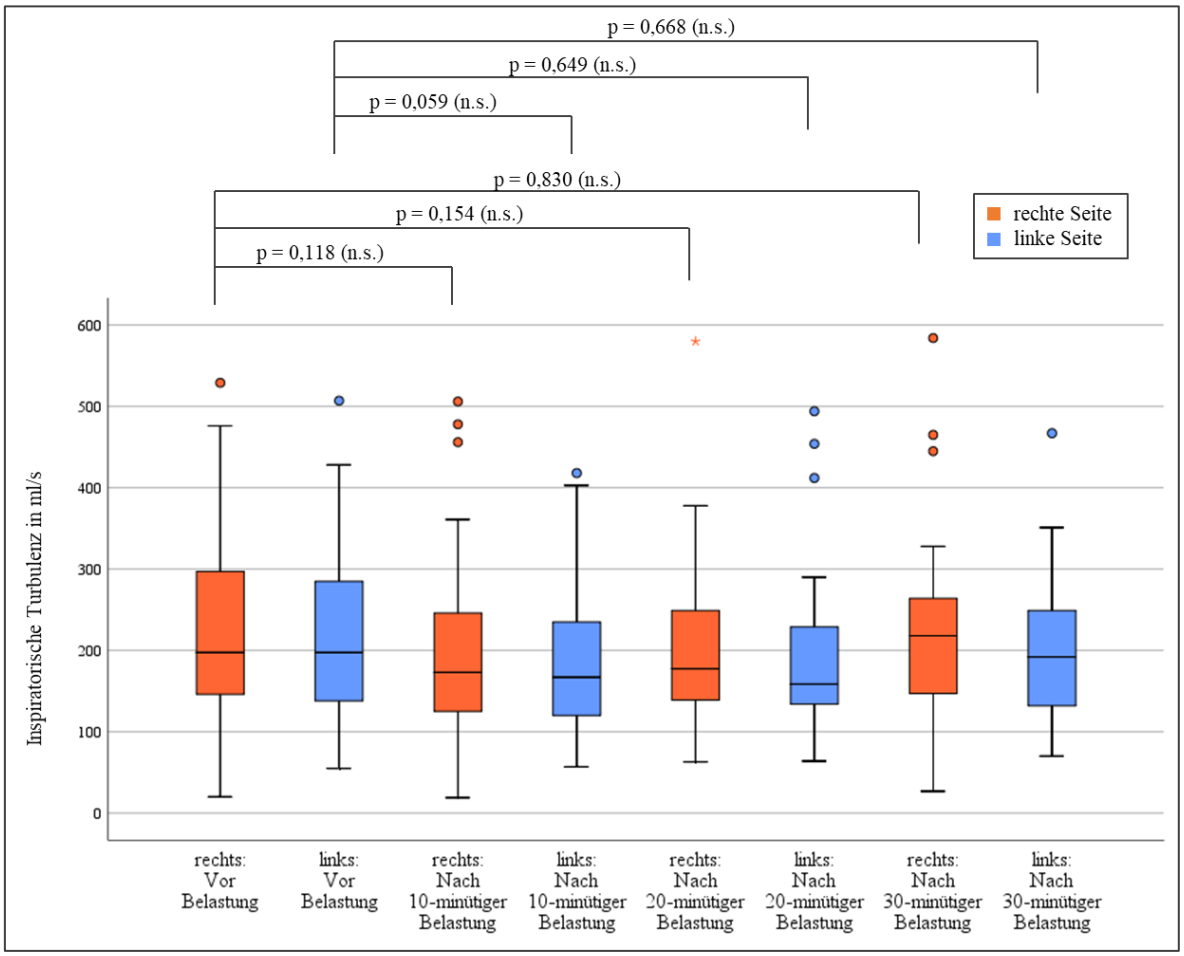

Abbildung 23: Verlauf der Werte der inspiratorischen Turbulenz der rechten und linken Nasenseite in Millilitern pro Sekunde, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(orange: Werteverteilung der rechten Nasenseite, blau: Werteverteilung der linken Nasenseite, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,050$, ml/s: Milliliter pro Sekunde)

Auf beiden Seiten der Nase zeigen sich geringfügige Änderungen der Medianwerte der inspiratorischen Turbulenz zu den verschiedenen Messzeitpunkten nach zehn, 20 und 30 Minuten Belastung im Hinblick auf die Ausgangsmessung t_0 vor körperlicher Aktivität.

Sowohl links als auch rechts ergeben sich zu keinem Messzeitpunkt signifikante Veränderungen der Turbulenz-Werte. Somit wird in allen Fällen die Nullhypothese beibehalten, die p-Werte liegen allesamt über dem Signifikanzniveau von $p < 0{,}050$.

Tabelle 5: Medianwerte der Variablen der Rhinoresistometrie mit Angabe einer möglichen signifikanten Korrelation, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

(t_0: Messung vor Belastung, t_1: Messung nach 10-minütiger Belastung, t_2: Messung nach 20-minütiger Belastung, t_3: Messung nach 30-minütiger Belastung)

(: signifikant, n.s.: nicht signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0{,}050$, sPa/ml: Sekunden-Pascal pro Millimeter, mm: Millimeter, ml/s: Milliliter pro Sekunde, inspirat.: inspiratorisch)*

		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	Widerstand inspirat. bei 250 ml/s [sPa/ml]	0,605	0,450	*	0,415	*	0,345	*
links	Widerstand inspirat. bei 250 ml/s [sPa/ml]	0,490	0,430	n.s	0,520	n.s	0,275	n.s
		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	hydraulischer Durchmesser [mm]	4,00	4,45	*	4,35	*	4,65	*
links	hydraulischer Durchmesser [mm]	4,50	4,70	n.s	4,30	n.s	5,00	*
		t_0	t_1	t_1-t_0	t_2	t_2-t_0	t_3	t_3 -t_0
rechts	komplette inspiratorische Turbulenz [ml/s]	200,50	186,00	n.s	187,50	n.s	206,00	n.s
links	komplette inspiratorische Turbulenz [ml/s]	167,00	167,00	n.s	164,00	n.s	189,50	n.s

Die Tabelle 5 zeigt die Medianwerte des inspiratorischen Widerstandes beider Nasenseiten bei 250 Millilitern pro Sekunde sowie des hydraulischen Durchmessers und der kompletten inspiratorischen Turbulenz.

Die dargestellten Werte des inspiratorischen Widerstandes beschreiben auf der rechten Nasenseite zu allen drei Messzeitpunkten nach Belastung signifikante Verringerungen im Vergleich zur Ausgangsmessung. Linksseitig sind dahingegen keine signifikanten Verkleinerungen der Werte des Widerstandes zu sehen. Zum Zeitpunkt nach 20 Minuten Belastung zeigt sich eine leichte Vergrößerung des Medianwertes im Hinblick auf den Wert der Ausgangsmessung vor Belastung.

Somit ergibt sich bei Betrachtung des Werteverlaufes des inspiratorischen Widerstandes, dass durch den Einfluss der körperlichen Anstrengung einseitige signifikante Veränderungen vorliegen.

Bei den Werten des hydraulischen Durchmessers der rechten Nasenseite lässt sich zu allen Zeitpunkten eine Vergrößerung des Medians feststellen. Die p-Werte liegen unter dem Signifikanzniveau von $p < 0{,}050$, wodurch signifikante Änderungen beschrieben werden. Auf der linken Seite zeigen sich zu den *Messzeitpunkten t_1: Nach zehn Minuten Belastung* und *t_2: Nach 20 Minuten Belastung* keine signifikanten Vergrößerungen des hydraulischen Durchmessers. Der Medianwert des Durchmessers nach 20-minütiger Belastung liegt etwas unter dem Wert der Ausgangsmessung vor körperlicher Aktivität. Wird die *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* betrachtet, ist eine signifikante Vergrößerung des hydraulischen Durchmessers ersichtlich.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass vor allem nach 30 Minuten Belastung ein signifikanter Einfluss der körperlichen Betätigung auf den hydraulischen Durchmesser der Nase vorliegt.

Die Tabelle verdeutlicht zudem, dass sich die Medianwerte der kompletten inspiratorischen Turbulenz auf beiden Nasenseiten zu den Messzeitpunkten nach zehn, 20 und 30 Minuten Belastung im Hinblick auf den Ausgangswert vor Belastung nicht signifikant verändern. Es konnte somit kein signifikanter Einfluss durch körperliche Belastung auf dem Fahrradergometer zu den verschiedenen Messzeitpunkten festgestellt werden.

3.5 Deskriptive Auswertung der Fragebögen

Im Rahmen der durchgeführten Studie bearbeiteten die Studienteilnehmenden zu verschiedenen Zeitpunkten die in *Kapitel 2.3* beschriebenen Fragebögen. Es erfolgte eine Auswertung dieser Fragebögen der 53 Probanden, wobei jedem der teilnehmenden Personen drei Fragebögen zugehörig waren. Wichtig dabei war, das subjektive Empfinden der Probanden vor und nach Belastung einschätzen zu können.

3.5.1 Auswertung des Fragebogens vor Belastung

Zu Beginn stehen, entsprechend des Studienverlaufes, die Ergebnisse des *Fragebogens vor Belastung*. Im Zuge dieser Befragung beantworteten die teilnehmenden Personen Fragen zu ihrem subjektiven Befinden vor körperlicher Belastung.

39 Probanden gaben vor körperlicher Aktivität kein subjektiv wahrnehmbares Schwellungsgefühl oder eine Verstopfung der Nase an, wohingegen 14 Probanden eine subjektive Beeinträchtigung unterschiedlichen Ausmaßes verspürten.

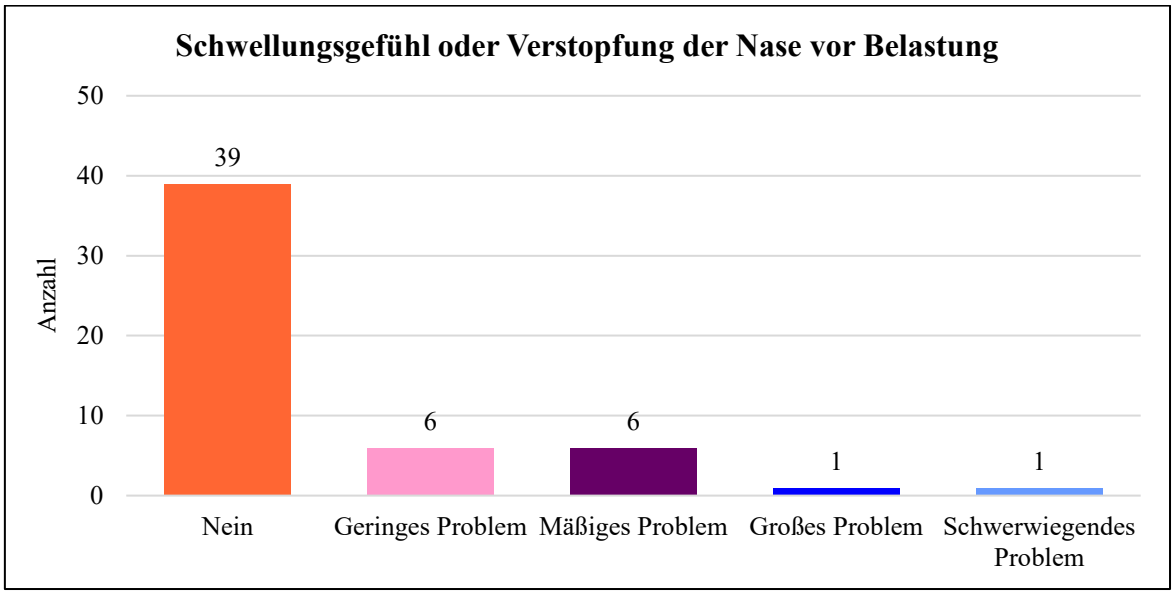

Abbildung 24: Schwellungsgefühl oder Verstopfung der Nase vor Belastung bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Des Weiteren gaben acht Personen an, vor körperlicher Anstrengung eine Verengung oder Blockade der Nase unterschiedlicher Ausprägung wahrzunehmen. 45 Probanden verneinten diese Frage.

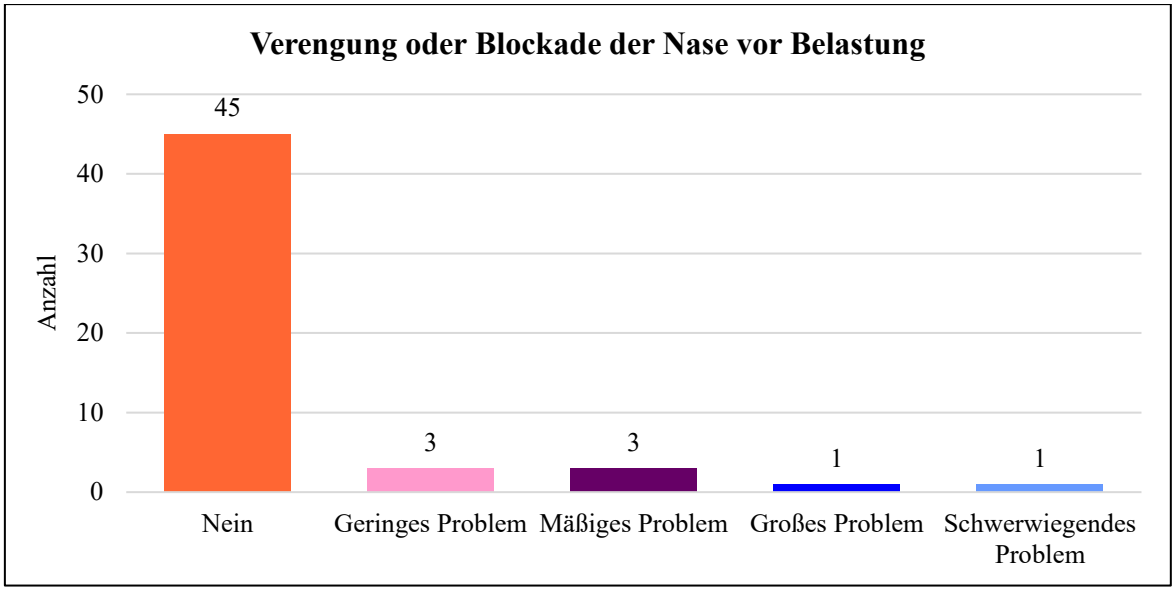

Abbildung 25: Verengung oder Blockade der Nase vor Belastung bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Aus dem Fragebogen vor Belastung ergibt sich überdies, dass 48 der 53 Teilnehmer vor Aktivität keine Schwierigkeiten bei dem Atmen durch die Nase empfanden. Die Frage bezog sich in erster Linie auf die ruhende Position.

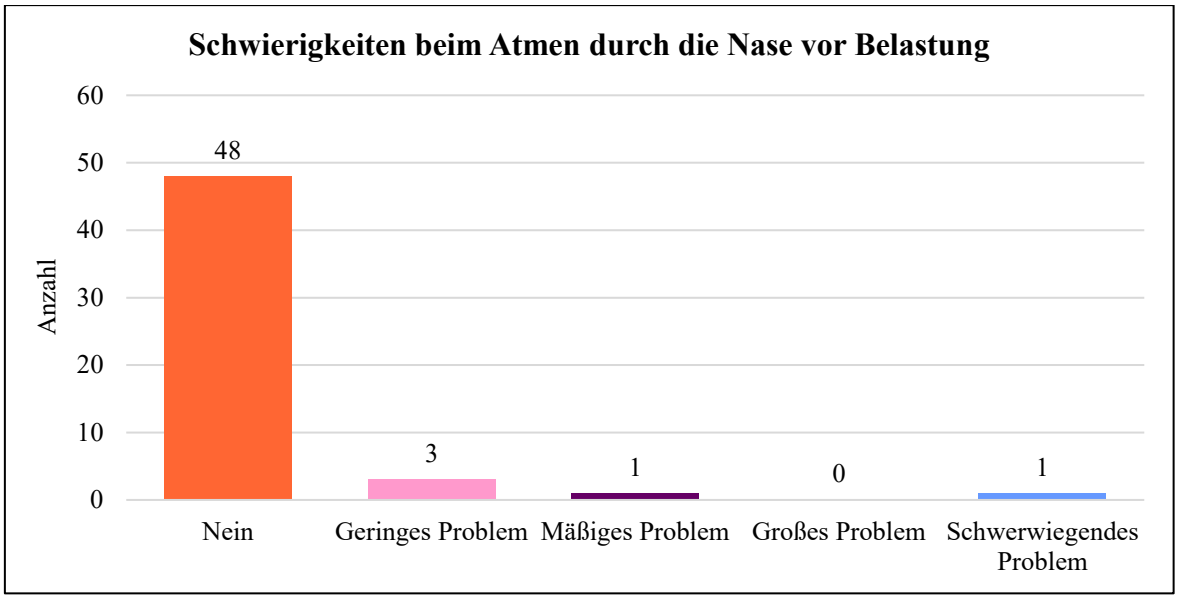

Abbildung 26: Schwierigkeiten beim Atmen durch die Nase vor Belastung bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Zusätzlich gaben die Probanden vor dem ersten Messdurchgang an, ob sie bei körperlicher Aktivität im Allgemeinen ausreichend Luft durch die Nase bekommen. Fünf der Probanden beantworteten dies mit einer Unfähigkeit unterschiedlicher Ausprägung, 48 Probanden hatten keine subjektiven Einschränkungen.

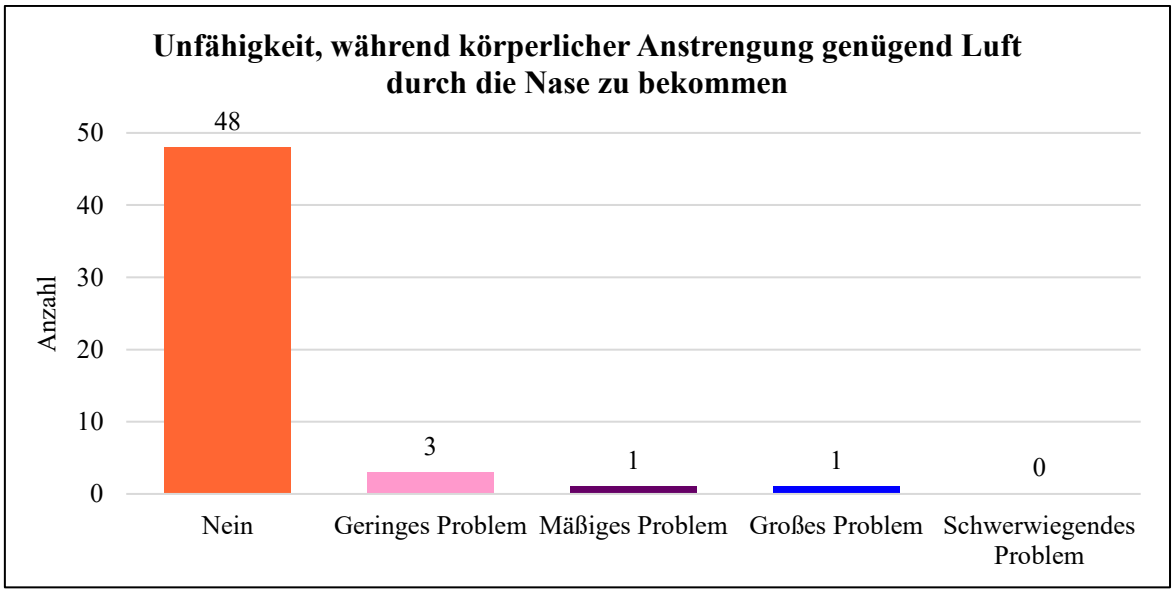

Abbildung 27: Unfähigkeit, während körperlicher Anstrengung genügend Luft durch die Nase zu bekommen bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

50 Personen verneinten, dass Probleme bestünden, während des Schlafens genügend Luft durch die Nase zu bekommen. Drei Probanden empfanden Beeinträchtigungen.

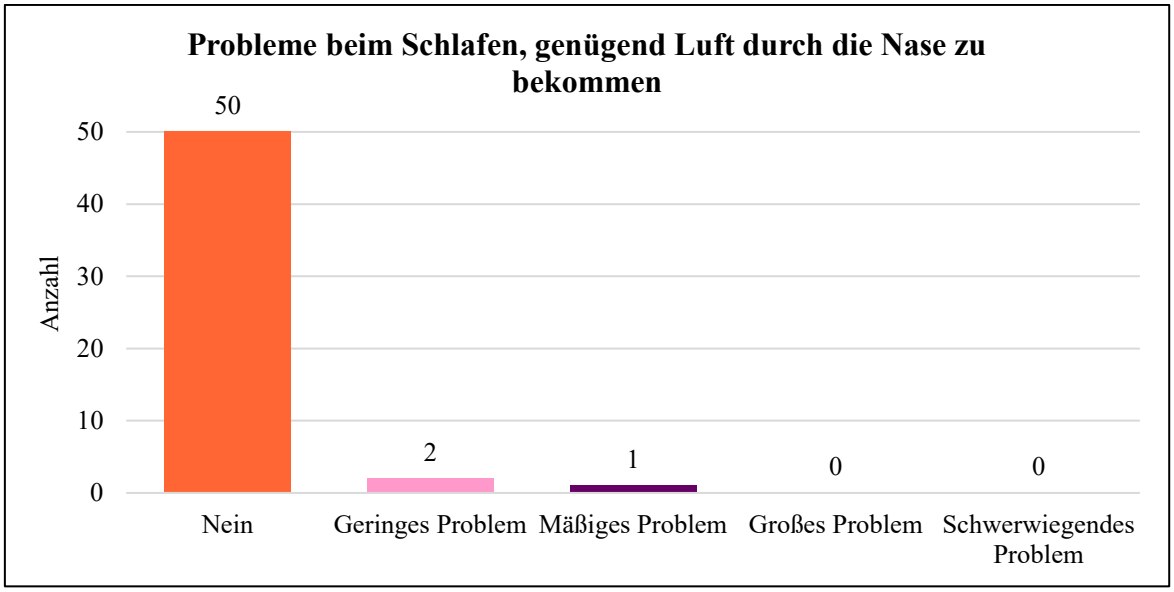

Abbildung 28: Probleme beim Schlafen, genügend Luft durch die Nase zu bekommen bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Großteil der Studienteilnehmer keine Einschränkungen ihrer Nasenatmung empfand.

3.5.2 Auswertung des Fragebogens nach Belastung

Die Studienteilnehmenden wurden nach der *Messung* t_3 gebeten, abschließend den letzten Fragebogen nach Belastung zu bearbeiten. 49 der 53 Probanden machten die Angabe, dass sie nach körperlicher Aktivität kein Schwellungsgefühl der Nase und auch keine Verstopfung verspürten. Vier Personen gaben an, dass sie eine verstopfte Nase beziehungsweise ein Gefühl der Schwellung der Nase hätten.

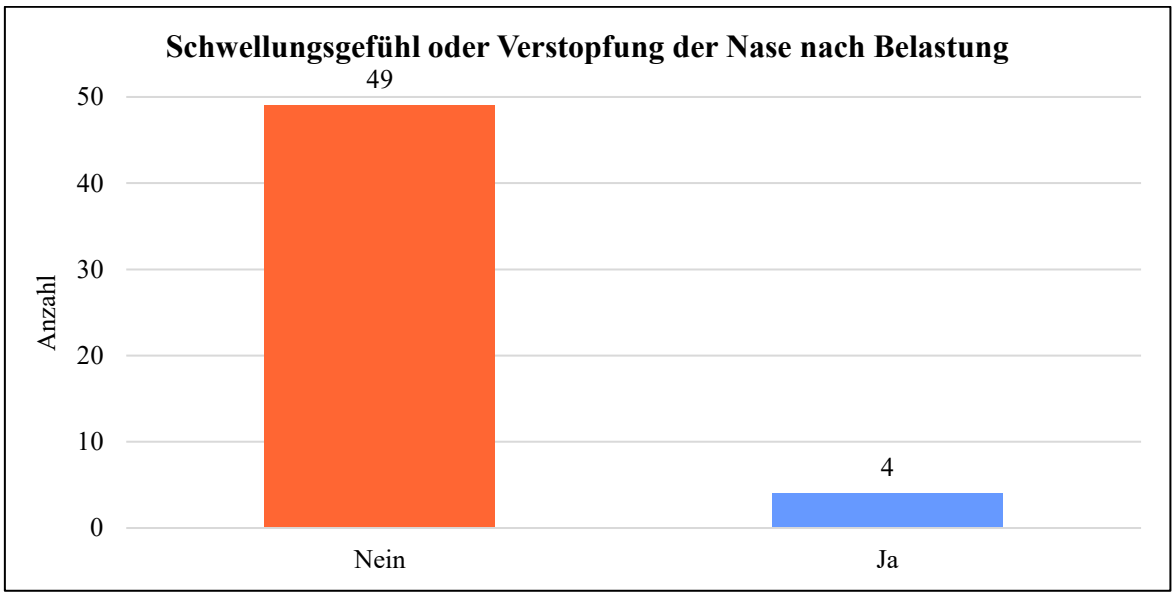

Abbildung 29: Schwellungsgefühl oder Verstopfung der Nase nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Eine Verengung oder Blockade der Nase nach körperlicher Anstrengung verneinten 48 Teilnehmende, fünf Probanden beantworteten diese Frage mit *Ja*.

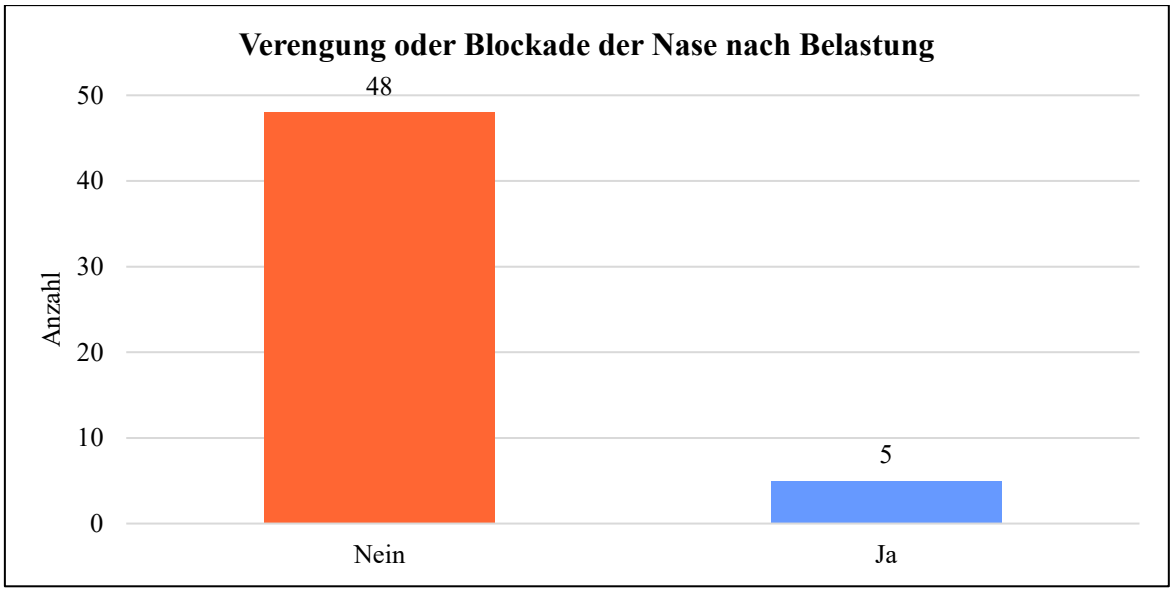

Abbildung 30: Verengung oder Blockade der Nase nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Fünf Personen verspürten nach Belastung Schwierigkeiten, genügend Luft durch die Nase zu bekommen, dahingegen verspürten die restlichen 48 Probanden keine Einschränkungen.

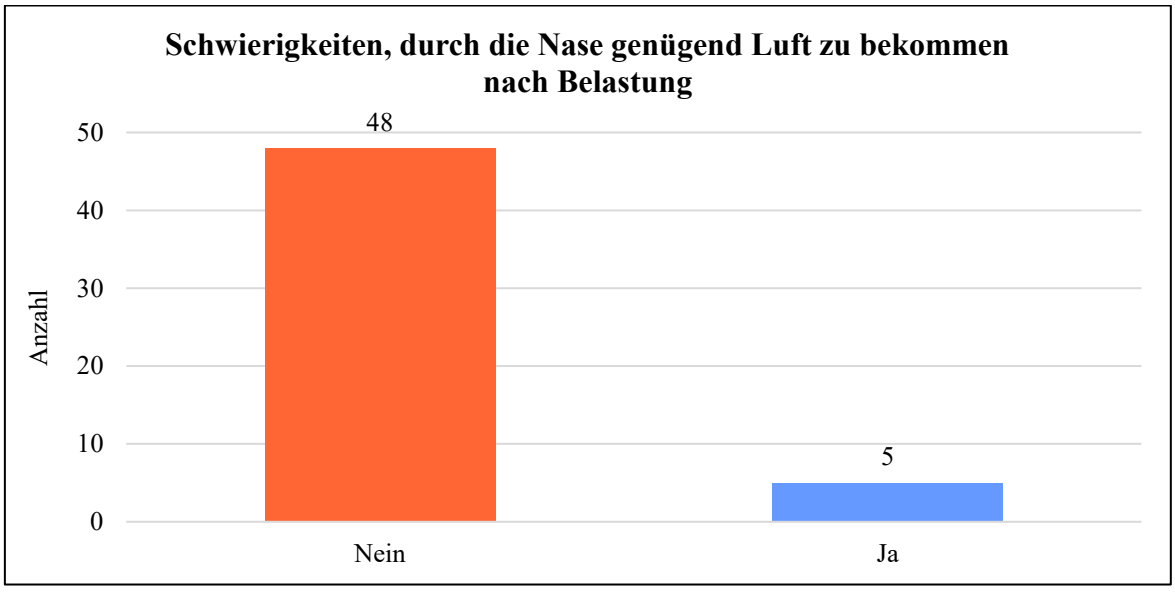

Abbildung 31: Schwierigkeiten, durch die Nase genügend Luft zu bekommen nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Eine subjektive Erweiterung der Nase nach körperlicher Anstrengung durch das Fahren auf dem Fahrradergometer wurde durch 36 der 53 Studienteilnehmenden empfunden. 17 Versuchspersonen verneinten diese Fragestellung.

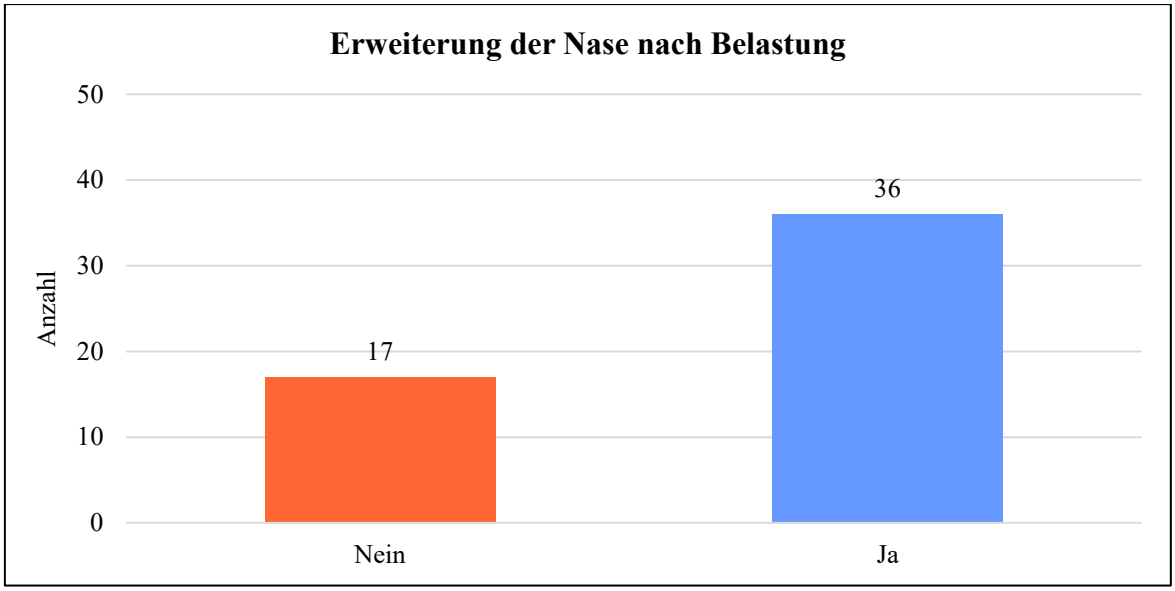

Abbildung 32: Subjektive Erweiterung der Nase nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Lediglich vier Probanden gaben nach körperlicher Belastung eine vermehrte Schleimbildung der Nase an, alle anderen konnte keine Erhöhung feststellen.

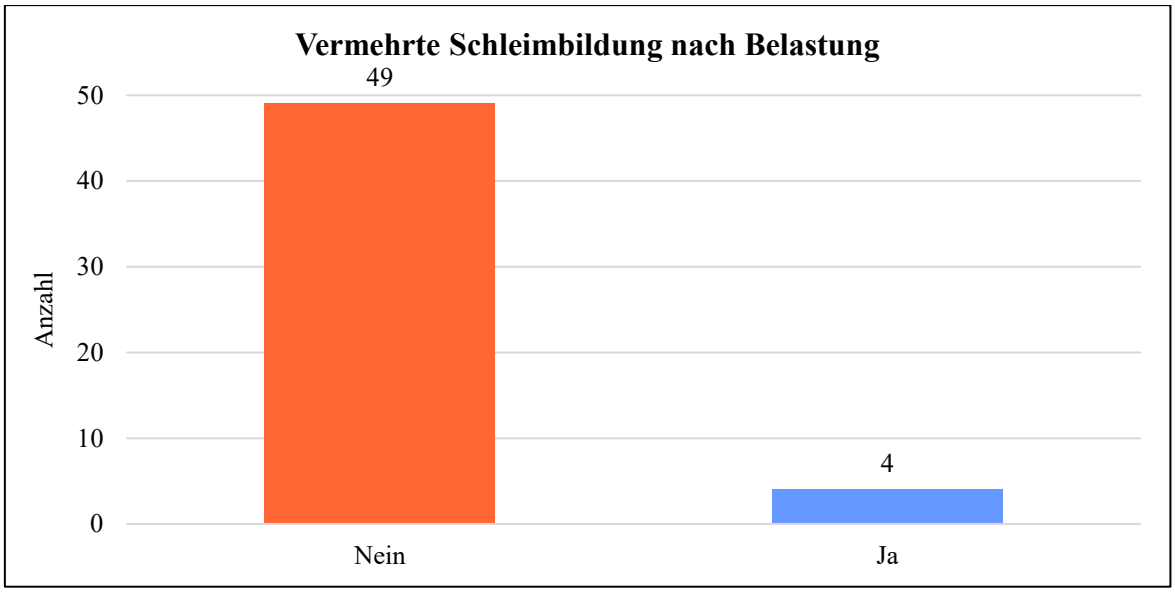

Abbildung 33: Vermehrte Schleimbildung nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Die letzte Frage, ob ein vermehrtes Bedürfnis bestehe, nach Belastung die Nase putzen zu müssen, wurde durch 45 Studienteilnehmende verneint. Acht Personen verspürten einen verstärkten Drang, die Nase zu putzen.

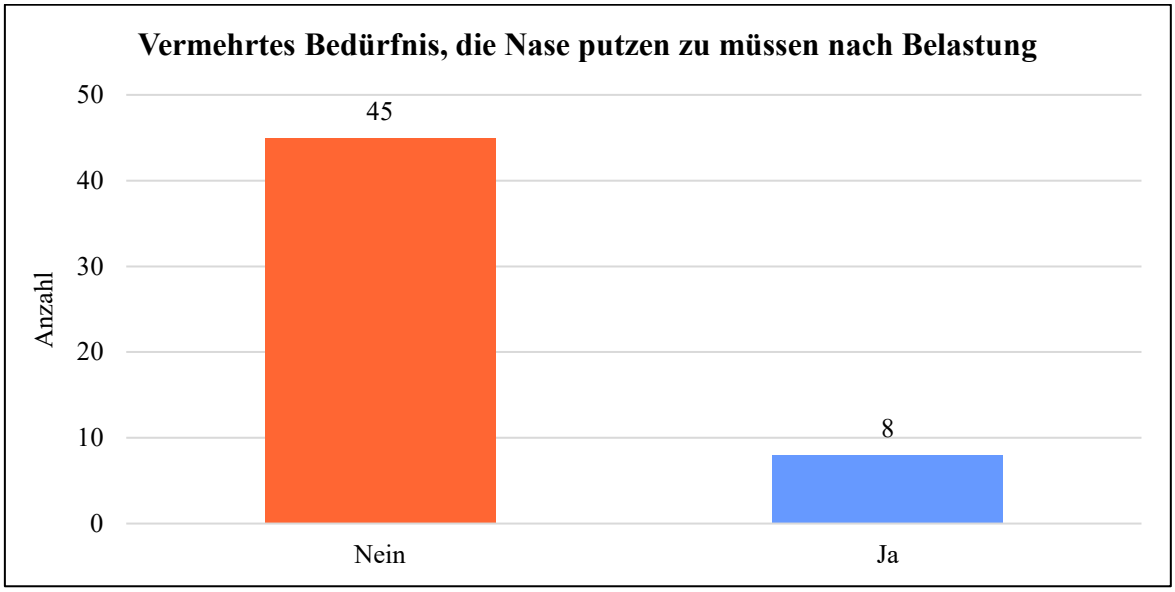

Abbildung 34: Vermehrtes Bedürfnis, die Nase zu putzen nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020)

Die Probanden erhielten nach Abschluss der Messungen und Bearbeitung des Fragebogens die Möglichkeit, Anmerkungen zu ihrem subjektiven Empfinden anzubringen. Da diese Studie anonymisiert durchgeführt wurde, können die Namen der Personen nicht im Text und im Literaturverzeichnis genannt werden.

Es wurde beispielsweise angegeben, dass nach Belastung die Luft besser durch die Nase fließen würde (Proband 2 2018). Ein weiterer Studienteilnehmender gab eine einseitige Erweiterung der rechten Nasenseite an, wohingegen die Atmung linksseitig eher schwerfiel (Proband 3 2018).

Zudem wurde von einer Person angemerkt, dass die Schleimbildung in der Nase deutlich vermindert war nach Belastung (Proband 19 2018). Ein weiterer Proband gab an, dass sich die Nase nach zehnminütiger Belastung subjektiv am meisten erweitert anfühlte (Proband 21 2018).

Eine verbesserte Nasenatmung gab ein weiterer Teilnehmender an (Proband 25 2018), zudem wurde diverse Male eine einseitige Erweiterung vermerkt.

Es wurde aber im Gegensatz hierzu auch durch einen Probanden mitgeteilt, dass sich nach 20 Minuten Belastung die Schwierigkeit, ausreichend Luft durch die Nase zu bekommen, vergrößerte (Proband 40 2020).

Insgesamt überwiegten jedoch die Vermerke, dass eine subjektive Erweiterung der Nase – einseitig oder beider Seiten – und eine verbesserte Nasendurchgängigkeit nach Belastung vorlagen.

3.6 Korrelation der Messergebnisse und der Fragebögen

Nach statistischer Auswertung der Messergebnisse der drei Messverfahren zu den jeweiligen Messzeitpunkten t_0, t_1, t_2 *und* t_3 wurde die mögliche Korrelation zwischen den erhobenen Messdaten und den Antworten der verschiedenen Fragebögen untersucht. Aufgrund einer erheblichen Menge an erlangten Werten wird an dieser Stelle auf eine genauere Darstellung der Daten verzichtet.

Es erfolgte eine Analyse der Korrelation zwischen Geschlecht und Alter und den Flächenwerten der MCA 1 und 2 sowie zwischen den inspiratorischen Flow-Werten und Resistance-Werten. Zu berücksichtigen ist, dass keine gleichmäßige Verteilung innerhalb der Probandengruppe bezüglich des Geschlechts und des Alters vorhanden ist.

Es zeigt sich, dass auf beiden Nasenseiten nur zu vereinzelten Messzeitpunkten signifikante Korrelationen der Werte der MCA 1 mit dem Geschlecht festzustellen sind. Bei Betrachtung der Korrelation des Alters mit den Werten der MCA 1 liegen die p-Werte auf beiden Nasenseiten über dem Signifikanzniveau von $p < 0{,}050$ und es stellt sich kein signifikanter Zusammenhang dar. Es besteht zudem keine Korrelation zwischen Geschlecht und Alter und den Flächenwerten der MCA 2.

Die errechneten p-Werte zwischen den inspiratorischen Flow-Werten beider Seiten der Nase und dem Geschlecht korrelieren ebenfalls in der Mehrheit der Messzeitpunkte nicht signifikant. Bei Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen dem Alter und den Flow-Werten liegen auf beiden Seiten die p-Werte zu allen Messzeitpunkten über dem Signifikanzniveau. Die gleiche Feststellung konnte auch bezüglich der inspiratorischen Resistance-Werte getroffen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass keine eindeutige Korrelation zwischen dem Geschlecht und dem Alter sowie der Nasendurchgängigkeit – ermittelt durch die Werte der MCA 1 und MCA 2 sowie Flow und Resistance während der Inspiration – besteht. Zu vereinzelten Messzeitpunkten lässt sich ein signifikanter Zusammenhang darstellen, jedoch ergibt sich dies in der Mehrheit der untersuchten Fälle nicht.

Darüber hinaus zeigten sich keine statistischen Korrelationen zwischen dem Fitnesszustand der Probanden und den erlangten Messwerten.

3.6.1 Beurteilung des subjektiven Empfindens der Nasendurchgängigkeit mit den gemessenen Werten vor und nach Belastung

Durch Anwendung des Wilcoxon-Tests konnte hinsichtlich der Flächenwerte der MCA 1 der Ausgangsmessung im Vergleich zur *Messung t_3* auf der rechten Nasenseite eine signifikante Vergrößerung ermittelt werden (siehe Abbildung 9).

Bei Betrachtung der Flächenwerte der MCA 2 der Messung vor Belastung und der Messung nach 30 Minuten körperlicher Aktivität ergab sich auf beiden Seiten eine signifikante Zunahme der Fläche (siehe Abbildungen 10).

Überdies konnte eine signifikante Vergrößerung des inspiratorischen Flow-Wertes beider Seiten sowie der gesamten Nase bei der *Messung t_3* vergleichend zur Ausgangsmessung festgestellt werden (siehe Abbildungen 13 und 14).

36 der 53 teilnehmenden Probanden gaben im Rahmen des Fragebogens nach Aktivität an, dass sie nach Belastung eine subjektive Erweiterung der Nase verspürten (siehe Abbildung 32). Dies deckt sich mit den signifikanten Veränderungen der Flächenwerte von MCA 1 und 2 sowie des inspiratorischen Flows.

Aufgrund der Befragungen nach dem subjektiven Empfinden der Probanden ergibt sich, dass die Wahrnehmung der Mehrheit der Studienteilnehmenden mit den Veränderungen der gemessenen Werte übereinstimmt.

3.7 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwiefern körperliche Belastung auf die Nasendurchgängigkeit Einfluss nimmt. Eine vorausgewählte Gruppe an nasengesunden Probanden strengte sich insgesamt 30 Minuten auf einem Fahrradergometer bei einer Wattzahl von 80 an. Es wurde vor Belastungsbeginn, sowie nach zehn, 20 und 30 Minuten körperlicher Betätigung jeweils ein Messdurchgang durchgeführt, um mögliche Veränderungen der Nasendurchgängigkeit zu detektieren.

Durch die erstmalige Kombination der drei modernen rhinologischen Messverfahren akustische Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie wurden folgende funktionsdiagnostisch relevanten Ergebnisse erlangt:

Im Rahmen der akustischen Rhinometrie kann ein signifikanter Einfluss von körperlicher Belastung auf die Flächenwerte der MCA 1 und MCA 2 sowie auf die Volumina 1 und 2 auf beiden Seiten der Nase nachgewiesen werden. Als Ausnahme ist hier die *Messung t_3: Nach 30 Minuten Belastung* auf der linken Nasenseite bei der MCA 1 zu nennen, bei der keine signifikante Veränderung der Flächenwerte zu der Ausgangsmessung vor Belastung vorliegt (siehe Abbildung 9).

Bei der Ergebnisdarstellung der Rhinomanometrie ergibt sich, dass bei dem inspiratorischen und exspiratorischen Flow jeweils rechtsseitig signifikante Vergrößerungen messbar sind, auf der linken Nasenseite kann dies jeweils nur zum Messzeitpunkt t_3 festgestellt werden. Der Gesamtflow zeigt sowohl bei der Inspiration als auch der Exspiration signifikante Veränderungen, die p-Werte liegen zu allen Messzeitpunkten unter dem Signifikanzniveau von $p < 0{,}050$.

Nach Untersuchung der Messwerte der nasalen Resistance während der Inspiration und der Exspiration kann festgehalten werden, dass auf der rechten Nasenseite signifikante Verkleinerungen zu allen Messzeitpunkten vorkommen. Linksseitig kann nur zum Messzeitpunkt t_3 nach 30 Minuten körperlicher Anstrengung im Vergleich zur Ausgangsmessung t_0 eine signifikante Abnahme dargestellt werden. Bei Betrachtung der Gesamt-Resistance zeigt sich inspiratorisch und exspiratorisch zu allen Zeitpunkten der Messung eine signifikante Veränderung.

Die Durchführung der Rhinoresistometrie ergab folgende Ergebnisse: Der nasale inspiratorische Atemwiderstand lässt einseitige signifikante Veränderungen auf der rechten Nasenseite erkennen. Linksseitig finden sich keine signifikanten Verminderungen des Widerstandes. Der hydraulische Durchmesser zeigt ebenfalls rechtsseitig eine signifikante Zunahme zu den jeweiligen Messzeitpunkten, auf der linken Seite kann nur zum Messzeitpunkt t_3 in Bezug zur Messung vor Belastung eine signifikante Steigerung des Durchmessers ermittelt werden. Die Untersuchung der inspiratorischen Turbulenz zeigt keine signifikanten Veränderungen.

Bei Betrachtung der Fragebögen, die von den Probanden vor und nach der Belastung bearbeitet wurden, ergibt sich, dass die Mehrheit der Probanden (68%) eine subjektive Erweiterung der Nase – einseitig oder beider Seiten – und eine subjektiv wahrnehmbare, verbesserte Nasendurchgängigkeit nach körperlicher Betätigung verspürten.

Resümierend kann somit die Aussage getroffen werden, dass körperliche Belastung einen signifikanten Einfluss auf die Nasendurchgängigkeit hat und dies auch durch das subjektive Empfinden der Studienteilnehmenden im Bereich der Nase bekräftigt werden kann.

4 Diskussion

Körperliche Bewegung hat vielfältige Auswirkungen auf den menschlichen Körper. Ziel dieser klinisch-prospektiven Studie war es, den Einfluss körperlicher Betätigung auf die Nase und im Speziellen auf die Nasendurchgängigkeit zu untersuchen. Die Aufgabe der Studienteilnehmenden bestand darin, sich insgesamt 30 Minuten auf einem Fahrradergometer bei 80 Watt körperlich anzustrengen.

Es wurden zu verschiedenen Zeitpunkten vier Messdurchgänge durchgeführt, wobei die erstmalige Kombination der drei modernen rhinologischen Funktionsdiagnostik-Methoden akustische Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie aufschlussreiche Ergebnisse liefern sollte. Genutzt wurde das RHINO-SYS-Gerät der Firma Happersberger otopront GmbH, um metrische Werte und graphische Darstellungen zu erhalten.

Darüber hinaus kamen standardisierte und selbst entworfene Fragebögen zum Einsatz, um den Fitnesszustand und die subjektiven Empfindungen im Bereich der Nase der 53 teilnehmenden Probanden vor und nach Belastung zu erfassen.

In der Vergangenheit befassten sich bis zu dem Zeitpunkt der Einreichung dieser Arbeit nur wenige Autoren mit dem Einfluss von körperlicher Anstrengung auf die Nasendurchgängigkeit. Zu nennen sind Leykauf aus dem Jahr 1972, Baumann und Masing aus dem Jahr 1970, Jayme aus dem Jahr 1973 oder auch Dallimore und Eccles 1977. Des Weiteren fanden sich im Rahmen der Literaturrecherche Publikationen von Saketkhoo et al. aus dem Jahr 1979, Forsyth et al. aus dem Jahr 1983, Ohki et al. ebenfalls aus dem Jahr 1983, Gehring et al. aus dem Jahr 2000 sowie Fonseca et al. im Jahr 2006, Krause aus dem Jahr 2011, Aydin et al. aus dem Jahr 2014 und Ottaviano et al. aus dem Jahr 2017. 2018 erschien zudem das Lehrbuch *Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie* von Mlynski und Pirsig, die ebenfalls unter anderem diesen Zusammenhang untersuchten.

Weitere, vor allem aktuellere Literatur konnte nach Durchsicht der vorgestellten Studien und eigener PubMed-Recherche nicht gefunden werden.

In der Mehrheit der Veröffentlichungen wurde nur eine einzelne Messtechnik angewendet, es handelte sich hier meist um die akustische Rhinometrie und die Rhinomanometrie. Die Rhinoresistometrie wurde bislang kaum genutzt. Eine Kombination dreier verschiedener, modernster funktionsdiagnostischer Methoden zur Durchführung einer systematischen

Untersuchung wurde in der vorhandenen Literatur bisher nicht angewendet, um den Einfluss körperlicher Anstrengung auf die Nase zu ermitteln. Zudem wurde zumeist keine einheitlich nasengesunde Teilnehmergruppe ausgewählt.

Somit lag im Rahmen dieser Dissertation erstmals der Fokus auf explizit nasengesunden Probanden, was durch eine anfängliche Untersuchung und die Anwendung des *NOSE© Fragebogens* mit Erfassung von normwertigen Score-Werten erreicht werden konnte. Durch Einbeziehung von 53 Teilnehmern wurde im Vergleich zu anderen Studien eine deutlich größere Zahl an Versuchspersonen im Rahmen dieser Publikation integriert.

Zudem wurde ein klares Studiendesign erarbeitet und besonderer Wert auf die erstmalige Kombination funktionsdiagnostischer Methoden zur Bestimmung des Einflusses körperlicher Anstrengung auf die Nasendurchgängigkeit zu verschiedenen Messzeitpunkten gelegt.

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Probandenkollektiv

Die Auswahl der Studienteilnehmenden, welche sich anschließend körperlich betätigten, unterlag verschiedenen Kriterien, die im Voraus festgelegt wurden. Wichtig war, dass die zu untersuchenden Probanden nasengesund waren. Dies wurde durch einen Fragebogen vor Beginn des Studienablaufes sowie durch die anteriore Rhinoskopie abgeklärt.

Hier spielte der validierte *NOSE©-Fragebogen* eine wichtige Rolle, um mögliche funktionelle Beschwerden ermitteln zu können (Lindemann et al. 2019). Die Analyse dieser Befragung zeigte normwertige NOSE-Scores und es konnte deshalb von einer einheitlichen funktionell nasengesunden Teilnehmergruppe ausgegangen werden.

Zudem wurden nur Nichtraucher zu der Studie zugelassen, da durch den Nikotinabusus Veränderungen im Bereich der Nasenschleimhaut entstehen können (Krause 2011).

Aufgrund der Covid-19-Pandemie wurden zum Schutz aller Beteiligten weniger Teilnehmer untersucht als ursprünglich geplant. Bei der Interpretation und Beurteilung der erlangten Ergebnisse muss deshalb beachtet werden, dass das Kollektiv mit 53 Probanden im Rahmen einer statistischen Analyse einer eher geringen Teilnehmerzahl entspricht. Dennoch kann in dieser Studie eine deutlich größere Stichprobe an Probanden vermerkt werden, als es in der bisher veröffentlichten Literatur zumeist der Fall ist.

Leykaufs Studie aus dem Jahr 1972 umfasste ein Patientenkollektiv von 31 Versuchspersonen. Betrachtet man als Vergleich zu der hier vorliegenden Arbeit die Studie von Jayme aus dem Jahr 1973 mit 51 Teilnehmenden, zeigt sich, dass dieser nicht nur gesunde Probanden untersuchte, sondern auch Probanden mit pathologischer Nasenatmung (Jayme 1973). Saketkhoo et al. führten ihre Studie dahingegen nur mit 9 männlichen Studienteilnehmern durch (Sakethoo et al. 1979). Fonseca et al. untersuchten ebenfalls eine vergleichsweise geringere Probandenzahl von 19 gesunden Personen im Rahmen eines Fahrradergometer-Tests (Fonseca et al. 2006). Gehring et al. nutzen für ihre Publikation im Jahr 2000 eine Teilnehmerzahl von 15 gesunden Personen (Gehring et al. 2000).

Krause analysierte im Jahr 2011 die Auswirkungen unter anderem von körperlicher Aktivität auf den Zustand der Schwellung der nasalen Schleimhaut bei starken Rauchern, 39

Probanden gehörten zu ihrem Studienkollektiv (Krause 2011). Aydin et al. untersuchten eine Gruppe von 20 gesunden, männlichen Läufern, die Nichtraucher waren (Aydin et al. 2014). An der Studie von Ottaviano et al. nahmen lediglich 13 Triathleten teil (Ottaviano et al. 2017). Mlynski und Pirsig schlossen 21 nasengesunde Personen in ihre Untersuchungen mit ein (Mlynski u. Pirsig 2018). Somit kann von der hier vorliegenden Studie gesagt werden, dass die Anzahl der Teilnehmenden vergleichbare Studien zum Teil deutlich übersteigt.

4.1.2 Versuchsaufbau

Der durchgeführte Studienablauf erfolgte bei jedem Probanden nach der gleichen Vorgehensweise. Die Messungen wurden nur von einer Untersucherin – der Verfasserin – durchgeführt, um die Reproduzierbarkeit zu erhöhen. Darüber hinaus wurde bei allen Teilnehmenden das gleiche Fahrradergometer genutzt und die Wattzahl konstant bei 80 Watt belassen. Die Teilnahme erfolgte einmalig, weshalb zur Reproduzierbarkeit an verschiedenen Tagen keine definitive Aussage getroffen werden kann.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Kombination der drei Messmethoden akustische Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie gewählt. Durch alle Methoden konnten objektiv messbare und vergleichbare Werte erlangt werden, um über die mögliche Signifikanz des Einflusses von körperlicher Anstrengung auf die Nasendurchgängigkeit Auskunft zu geben.

Betrachtet man bereits durchgeführte Studien anderer Autoren, erkennt man, dass in den meisten Fällen nur die Nutzung einer einzelnen Funktionsdiagnostik-Methode zur Datenerhebung zum Einsatz kommt. In der Literatur wurden häufig die Rhinometrie oder die Rhinomanometrie als alleinige Methoden genutzt, um quantitative Ergebnisse in Bezug auf die Nasendurchgängigkeit zu erhalten (Leykauf 1972, Jayme 1973, Dallimore u. Eccles 1977, Saketkhoo et al. 1977, Ohki et al. 1987, Gehring et al. 2000, Fonseca et al. 2006, Krause 2011).

Zudem wird ersichtlich, dass bislang kaum Daten durch die Nutzung der Rhinoresistometrie in Zusammenhang mit der Untersuchung der Nasendurchgängigkeit bei körperlicher Belastung erhoben wurden.

Dadurch, dass im Rahmen dieser Dissertation nicht nur durch eine, sondern durch drei verschiedene moderne funktionsdiagnostische Messmethoden Daten erhoben wurden, konnte die Aussagekraft gegenüber bisherigen Untersuchungen erhöht werden. Es ergab sich die Möglichkeit, eine Vielzahl an Variablen zu analysieren, wodurch die Auswertung umfassender gestaltet werden konnte.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Durch Erhebung diverser rhinometrischer Messwerte konnten objektive und quantifizierbare Aussagen zu dem Einfluss körperlicher Anstrengung auf die Nasendurchgängigkeit getroffen werden. Es stellten sich im Rahmen der akustischen Rhinometrie signifikante Veränderungen der MCA 1 und MCA 2 auf beiden Nasenseiten dar, wodurch eine Korrelation mit der körperlichen Betätigung aufgezeigt werden konnte. Auch die nasalen Volumina 1 und 2 zeigten zu den verschiedenen Messzeitpunkten im Vergleich zu der Ausgangsmessung t_0 vor Belastung signifikante Veränderungen sowohl rechts- als auch linksseitig.

Die Erkenntnisse dieser Studie decken sich mit Befunden aus der Literatur. Die Rhinometrie wurde durch diverse Autoren genutzt, um quantitative Messwerte zu bestimmen. Dallimore und Eccles konnten 1977 feststellen, dass eine Beeinflussung des Nasenzyklus durch körperliche Anstrengung möglich sei. Während des Studienablaufes beobachteten sie, dass es bei den Studienteilnehmenden zu einer signifikanten Reduzierung des Nasenwiderstandes auf beiden Nasenseiten durch Belastung kam (Dallimore u. Eccles 1977).

Im Jahr 1979 fand die Rhinometrie auch in der Studie von Saketkhoo et al. Anwendung. Laut dieser Publikation konnte bei den Probanden eine Verringerung des nasalen Widerstandes durch körperliche Anstrengung nachgewiesen werden. Auch diese Studie wurde an Nichtrauchern durchgeführt (Saketkhoo et al. 1979).

1983 stützten Forsyth et al. die Annahme, dass die Verringerung des nasalen Widerstandes durch körperliche Bewegung erreicht werden kann. In ihrer Veröffentlichung beschrieben sie, dass dieser verringerte Widerstand vermutlich vor allem durch eine passive Umverteilung des Blutstroms mit einem Abschwellen der Blutgefäße zustande kommt (Forsyth et al. 1983). Darüber hinaus wurde ermittelt, dass durch gesteigerte Intensität der Belastung auch der nasale Widerstand stärker und schneller abnimmt (Forsyth et al. 1983).

In der im Jahr 2000 veröffentlichten Publikation von Gehring et al. wurde die Anwendung verschiedener Nasenpflaster während körperlicher Belastung auf einem Fahrradergometer untersucht. Es erfolgte zudem eine Kontrollmessung ohne Nasenpflaster. Es wurde nachgewiesen, dass sowohl im Versuchsdurchgang mit Nasenpflastern als auch bei der Kontrollmessung ohne Pflaster bei körperlicher Betätigung eine signifikante Senkung des

inspiratorischen und exspiratorischen Nasenwiderstandes verzeichnet werden konnte. Des Weiteren erfolgte eine Zunahme der nasalen inspiratorischen Belüftung infolge körperlicher Anstrengung (Gehring et al. 2000).

Fonseca et al. konnten 2006 aufzeigen, dass körperliche Betätigung auch auf das nasale Volumen signifikanten Einfluss nimmt. Sie stellten in ihrer Studie eine Vergrößerung des Nasenvolumens bei den Probanden im Rahmen eines Fahrradergometer-Tests fest. Somit stützten sie die in der Literatur bereits beschriebene These, dass Bewegung zu einem Anstieg des Nasenvolumens führt (Fonseca 2006).

Krause untersuchte im Jahr 2011 die Auswirkungen von Lagewechseln und körperlicher Aktivität auf den Zustand der nasalen Schwellung bei Rauchern. Die Probanden sollten 81 Treppenstufen zügig hinaufgehen. Sie wies im Rahmen ihrer Untersuchungen nach, dass sich das Nasentotalvolumen bei körperlicher Belastung signifikant vergrößerte. Auch bei der Nasenengstellenfläche wurde eine signifikante Zunahme ermittelt. Jedoch konnte bei Rauchern ein Ungleichgewicht zwischen Sympathikus und Parasympathikus festgestellt werden, welches für die Schwelldynamik wichtig ist (Krause 2011).

Aydin et al. befassten sich mit dem Einfluss von Schadstoffen der Luft auf die nasale Funktion bei männlichen Läufern. Als Ergebnis konnte nach Anwendung der Rhinomanometrie festgestellt werden, dass sich der nasale Widerstand durch sportliche Belastung reduziert. Es konnte jedoch ein Unterschied nachgewiesen werden, ob sich die Personen auf dem Land oder in städtischer Umgebung bewegten, da in der Stadt eine höhere Belastung der Luft mit Schadstoffen aufgrund des vermehrten Verkehrs vorliegt (Aydin et al. 2014).

2017 publizierten Ottaviano et al. ihre Studie, die sich mit der Auswirkung von Nasenpflastern bei körperlicher Bewegung beschäftigte. Die 13 teilnehmenden Triathleten wurden vorab mit Hilfe des *NOSE© Fragebogens* als nasengesund eingestuft. In ihrer Untersuchung kam es nach Belastung zu einer signifikanten Steigerung des inspiratorischen nasalen Luftflusses, welcher auch als Peak nasal inspiratory flow bezeichnet wird. Dies fand mit und ohne Nasenpflaster statt (Ottaviano et al. 2017).

Im Jahr 2018 erfolgte die Veröffentlichung des Lehrbuchs von Mlynski und Pirsig. Auch sie analysierten die Auswirkungen von körperlicher Belastung auf die Nase, insbesondere auf

den Nasenzyklus. Es wurde ermittelt, dass durch körperliche Betätigung der Sauerstoffbedarf steigt und eine Zunahme der Flow-Werte zustande kommt. Darüber hinaus erhöht sich das nasale Minutenvolumen und es können je nach Intensität der Belastung verschiedene definierte Stufen des Nasenzyklus erreicht werden (siehe *Kapitel 1.2.1*) (Mlynski u. Pirsig 2018).

Nach Auswertung der rhinomanometrischen Messwerte dieser Studie, vor allem den Flow und die Resistance betreffend, konnte inspiratorisch und exspiratorisch auf der rechten Nasenseite eine signifikante Steigerung des Flow-Wertes aufgezeigt werden, linksseitig nur jeweils zu dem *Messzeitpunkt t_3: Nach 30 Minuten Belastung*. Bei Betrachtung des Gesamt-Flows sowohl während der Inspiration als auch der Exspiration zeigte sich eine signifikante Erhöhung der Messwerte durch körperliche Betätigung.

Betrachtet man die erhaltenen Resistance-Werte, kann ein ähnliches Ergebnis vorgestellt werden. Auch hier konnte rechtsseitig eine signifikante Veränderung der nasalen Resistance inspiratorisch wie auch exspiratorisch erkannt werden, auf der linken Seite konnte dies nur zu dem Messzeitpunkt nach 30 Minuten Belastung in Bezug zu der Ausgangsmessung vor Belastung aufgezeigt werden. Wird die Resistance der gesamten Nase betrachtet, zeigt sich hier zu allen Messzeitpunkten eine signifikante Verkleinerung während der Inspiration und der Exspiration.

Dies entspricht auch den Ergebnissen, die bereits in der Literatur durch verschiedene Autoren, welche die Rhinomanometrie nutzen, vorgestellt wurden. Leykauf kam in seiner 1972 veröffentlichten Dissertation zu dem Ergebnis, dass durch körperliche Betätigung eine Weitung der Nase und ein Abfall des Widerstandskoeffizienten zustande kommen. Bei gut trainierten Personen ist darüber hinaus laut Leykauf auch ein früheres Erreichen des niedrigsten Widerstandskoeffizienten möglich (Leykauf 1972).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Baumann und Masing im Jahr 1970, indem sie eine Senkung des Widerstandskoeffizienten bei körperlicher Belastung nachwiesen (Baumann u. Masing 1970).

1973 wurde durch Jayme festgestellt, dass sich bei seinem Patientenkollektiv – welches aus gesunden Probanden sowie Patienten mit pathologischer Nasenatmung zusammensetzte –

eine signifikante Senkung des Widerstandskoeffizienten während körperlicher Betätigung nachweisen lässt (Jayme 1973).

Ohki et al. analysierten im Jahr 1987, dass bei den Teilnehmern ihrer Studie sowohl eine Verringerung des nasalen Atemwiderstandes als auch eine Abnahme des nasalen Blutflusses in Zusammenhang mit körperlicher Anstrengung festgestellt werden konnten. Ihrer Ansicht nach induziert Bewegung als Stimulus eine Vasokonstriktion der Gefäße innerhalb der Nasenschleimhaut (Ohki et al. 1987).

Im Rahmen der Rhinoresistometrie lag das Augenmerk bei der Auswertung der Messergebnisse dieser Arbeit auf dem nasalen Atemwiderstand während der Inspiration, dem hydraulischen Durchmesser sowie der Turbulenz während der Inspiration. Bei dem inspiratorischen nasalen Atemwiderstand trat eine einseitige signifikante Veränderung auf der rechten Nasenseite durch den Einfluss körperlicher Belastung auf. Bei Betrachtung der Messwerte der linken Seite konnte keine signifikante Änderung festgestellt werden.

Die Werteverteilung des hydraulischen Durchmessers zeigte ebenfalls einseitige signifikante Veränderung rechtsseitig, auf der linken Nasenseite konnte nur zu dem Messzeitpunkt nach 30 Minuten Belastung eine signifikante Vergrößerung durch körperliche Anstrengung dargestellt werden. Nach Analyse der kompletten Turbulenz während der Inspiration konnte keine Korrelation zu körperlicher Betätigung aufgezeigt werden.

Durch Nutzung dieser dritten Messmethode zur Erhöhung der Aussagekraft der erhaltenen rhinometrischen und rhinomanometrischen Messwerte konnte der Einfluss von Bewegung auf die Nasendurchgängigkeit genauer untersucht und bestimmt werden als durch die Nutzung einer einzelnen Methode. Zum Zeitpunkt der Recherche konnte in der Literatur keine vergleichbare Studie zu der hier angewendeten Untersuchung gefunden werden, die rhinoresistometrische Messwerte miteinbezieht.

Kritisch betont werden sollte im Hinblick auf diese Messmethode, dass die Rhinoresistometrie eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Messungenauigkeiten mit sich bringt, was in der Datenauswertung vor allem an den Ausreißern erkennbar ist. Dies könnte unter anderem der Notwendigkeit der sehr guten Zusammenarbeit der Probanden und des Untersuchenden geschuldet sein, um beispielsweise ein nicht vollständiges luftdichtes Abdichten durch die Atemmaske frühzeitig zu korrigieren.

Eine mögliche Korrelation zwischen dem Geschlecht und dem Alter der Probanden und den erhaltenen Messwerten wurde im Rahmen dieser Studie untersucht, es konnte jedoch kein eindeutiger Zusammenhang ermittelt werden. Überdies konnte auch keine eindeutige signifikante Korrelation zwischen dem Fitnesszustand der Probanden und der Durchgängigkeit der Nase festgestellt werden. Dies entspricht nicht der Aussage von Mlynski und Pirsig, welche einen signifikanten Einfluss von Alter oder Trainingszustand auf den Gesamtflow feststellten (Mlynski u. Pirsig 2018).

Die Nase wird äußerst diffizil angesteuert und innerviert. Eine wichtige Rolle spielt hierbei das vegetative Nervensystem mit Sympathikus und Parasympathikus. Durch körperliche Belastung wird in erster Linie das sympathoadrenerge System aktiviert. Es kommt zu einer vermehrten Ausschüttung von Neurotransmittern wie Noradrenalin und Neuropeptid Y, die zu einer Vasokonstriktion der nasalen Gefäße führen und darüber hinaus eine Abnahme des nasalen Schwellkörpervolumens begünstigen (Knipping 2004).

Durch Abnahme des Volumens des Schwellgewebes entsteht eine Vergrößerung des Querschnittes im Naseninneren und die Flächenwerte der MCA 1 und 2 verändern sich dementsprechend. Zugleich vergrößern sich die nasalen Volumina 1 und 2. Weiterhin erklären sich so auch die Werteveränderungen der Flow- und Resistance-Werte.

Trotzdem ist durch die äußerst komplexe Ansteuerung der Nase ebenfalls festzustellen, dass die rechte und linke Nasenseite nicht immer gleich reagieren. Im Rahmen dieser Studie können lediglich die erhaltenen funktionsdiagnostischen Messwerte beurteilt werden, welche der Erwartung entsprechen, dass die Nase durch körperliche Belastung erweitert wird, da im Körper ein erhöhter Sauerstoffbedarf vorliegt und eine gesteigerte Nasendurchgängigkeit eine bessere Atmung ermöglicht.

Des Weiteren gibt es zum Teil auch keine deutliche Übereinstimmung zwischen den erhaltenen Messwerten und der subjektiven Empfindung der jeweiligen Versuchsperson, was ein übliches Problem im Rahmen der Funktionsdiagnostik darstellt.

Jedoch ist die nasale Innervation durch den Einfluss diverser Hormone, Peptide und Neurotransmitter derart diffizil gesteuert und in vielen Teilen auch noch nicht vollständig erforscht. So geben die erhaltenen Funktionswerte zwar einen Hinweis auf das Verhalten, eine eindeutige Beurteilung kann jedoch abschließend nicht gegeben werden.

4.3 Aussagekraft und Limitationen der durchgeführten Studie

Im Hinblick auf die Limitationen, die im Rahmen der Studiendurchführung erkennbar wurden, lässt sich folgendes feststellen:

Aufgrund der Zusammensetzung des Probandenkollektivs, welches aus 37 weiblichen Teilnehmerinnen und 16 männlichen Teilnehmern besteht, ist diese Ergebnisdarstellung nicht geeignet, um geschlechterspezifische Differenzierungen näher zu analysieren. Ähnlich stellt es sich bei den altersspezifischen Gegebenheiten dar, da es zwar eine große Varianz im Alter der Studienteilnehmenden gibt, jedoch keine gleichmäßige Verteilung vorliegt, was der Mittelwert von 26,55 Jahren verdeutlicht.

Des Weiteren muss auch hier noch einmal betont werden, dass die Anzahl der Probanden zwar andere Studien zum Teil deutlich übersteigt, jedoch für eine statistische Analyse trotzdem relativ gering ist. Dies sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Zur Methodik ist darüber hinaus anzufügen, dass die Messtechniken sich oft mit denen anderer Studien decken. Jedoch ist ein genauer Vergleich der erhaltenen Messwerte kritisch zu beleuchten, da im Rahmen der verschiedenen Untersuchungen Messgeräte unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz kamen.

Auch die Mitarbeit der Probanden spielt eine entscheidende Rolle für den Erfolg der korrekten Studiendurchführung. Hier muss eine gewisse Fehleranfälligkeit bedacht werden, da die Teilnehmenden in den meisten Fällen kein medizinisches Vorwissen im Bereich rhinologischer Messmethoden und deren Anwendung hatten. Es wurde besonders Wert auf die Kontrolle und die sorgfältige Durchführung der Messungen gelegt, indem darauf geachtet wurde, ein nicht ordnungsgemäß abdichtendes Pflaster bei der Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie frühzeitig zu bemerken und zu vermeiden oder das korrekte Anlegen des Nasenadapters bei der akustischen Rhinometrie ohne Deformierung der äußeren Nase zu gewährleisten.

4.4 Fazit und Ausblick

Der Einfluss körperlicher Belastung auf die Nasendurchgängigkeit wurde bisher nur durch wenige Autoren untersucht und konnte in der Vergangenheit durch einzelne Studien festgestellt werden. Dennoch gibt es kaum aktuellere Literatur, die sich mit dieser Thematik beschäftigt. Das bisher Publizierte deckt sich aber mit den Ergebnissen, die im Rahmen der hier angewendeten Untersuchungen erlangt wurden.

In der Literatur wurde häufig nur eine Messtechnik genutzt, um die Veränderungen im Naseninneren zu ermitteln. Durch die erstmalige Anwendung und Kombination von drei modernen rhinologischen Funktionsdiagnostik-Methoden – der akustischen Rhinometrie, der Rhinomanometrie und der Rhinoresistometrie – konnten durch Erhalt vieler relevanter Variablen genauere Aussagen zum Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Nase und deren Schwellgewebe getroffen werden. Somit kann gesagt werden, dass durch die hier vorliegende Studie umfassendere Interpretationen der Messergebnisse ermöglicht wurden.

Es wurden im Rahmen dieser Dissertation ausschließlich funktionell nasengesunde Teilnehmer miteinbezogen, was vorab durch eine Untersuchung und eine normwertige Ergebnis-Auswertung des *NOSE© Fragebogens* überprüft wurde. Die Anzahl der Versuchspersonen übertrifft jene Probandenzahl bisheriger Studien zum Teil deutlich. Zudem wurde in diesem Fall besonderes Augenmerk auf ein klares Studiendesign gelegt.

Beachtet werden muss jedoch auch hier, dass durch die sehr diffizile Innervation der Nase die erhaltenen Messwerte zwar einen Hinweis auf das nasale Verhalten geben, jedoch keine eindeutige abschließende Aussage aufgrund der Komplexität getroffen werden kann.

Es wird für sinnvoll erachtet, wenn sich weiterführende Untersuchungen beispielweise mit dem Einfluss körperlicher Anstrengung bei Probanden mit endonasalen Pathologien ebenfalls mit der Anwendung dieser kombinierten Messtechniken beschäftigen würden. Hier wird eine Erhöhung der Fallzahl der Studienteilnehmenden empfohlen, um die statistische Aussagekraft weiter zu steigern.

Es wäre erfreulich, wenn zukünftig mehr Fragestellungen erforscht würden, beispielsweise inwiefern körperliche Betätigung die Nasendurchgängigkeit bei nicht nasengesunden Patienten beeinflusst und ob auch hier eine gesteigerte Durchgängigkeit durch Bewegung erreicht werden könnte.

5 Zusammenfassung

Die Nasendurchgängigkeit hat bedeutenden Einfluss auf das körperliche Wohlbefinden, was sich beispielsweise bei einer Einschränkung im Rahmen einer Erkältung oder einer Covid-19-Infektion zeigt. Die Nasendurchgängigkeit kann jedoch nicht nur durch Arzneimittel wie abschwellende Nasensprays, sondern auch durch weitere Möglichkeiten beeinflusst werden. Insbesondere körperliche Belastung spielt hier eine wichtige Rolle.

Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss von Bewegung auf die Nasendurchgängigkeit zu untersuchen, um eine Aussage treffen zu können, inwiefern objektiv messbare, aber auch subjektiv wahrnehmbare Veränderungen ermittelt werden können.

Für die Studie wurden 53 Probanden ohne endonasale Pathologien akquiriert. Um zu überprüfen, dass es sich um funktionell nasengesunde Teilnehmer handelt, erfolgte zu Beginn des Studienablaufes eine rhinologische Untersuchung und zusätzlich eine Erfassung des subjektiven Empfindens mit Hilfe des *NOSE© Fragebogens*.

Die Studienteilnehmenden fuhren dann insgesamt 30 Minuten auf einem Fahrradergometer bei einer festgelegten Leistung von 80 Watt und unterzogen sich vor Beginn sowie nach zehn, 20 und 30 Minuten Belastung den jeweiligen funktionsdiagnostischen Messverfahren. Es wurde erstmalig die Kombination der drei modernen Funktionsdiagnostik-Methoden akustische Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie angewandt, um neue und umfassende Erkenntnisse durch eine Vielzahl von Messwerten zu erhalten.

Darüber hinaus erfolgte eine Befragung der Patienten anhand von verschiedenen Fragebögen, um einerseits den Fitnesszustand und andererseits die subjektiven Empfindungen vor und nach körperlicher Belastung einschätzen zu können und eine mögliche Korrelation zu den erhobenen Messwerten zu überprüfen.

Im Rahmen der akustischen Rhinometrie zeigten sich durch Belastung signifikante Veränderungen der Minimal Cross Sectional Areas 1 und 2 sowie der Volumina 1 und 2 zu fast allen Messzeitpunkten auf beiden Nasenseiten (Ausnahme: Minimal Cross Sectional Area 1, Messung t_3 nach 30 Minuten Belastung linksseitig).

Nach Auswertung der Rhinomanometrie konnte man eine signifikante Korrelation zwischen der körperlichen Anstrengung und den inspiratorischen und exspiratorischen Flow-Werten erkennen. Des Weiteren konnten auch signifikante Reduzierungen der nasalen Resistance-Werte nachgewiesen werden.

Die erhaltenen rhinoresistometrischen Messwerte führten zu der Annahme, dass einseitige signifikante Veränderungen des inspiratorischen Widerstandes durch den Einfluss körperlicher Betätigung vorlagen. Betrachtet man den hydraulischen Durchmesser, zeigte sich vor allem nach 30-minütiger Belastung eine signifikante Korrelation. Im Rahmen der Auswertung der kompletten Turbulenz konnte kein signifikanter Einfluss festgestellt werden.

Es wurde zudem eine mögliche Korrelation zwischen dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Fitnesszustand der Probanden mit den Messwerten zur Darstellung der Nasendurchgängigkeit untersucht. Es wurde jedoch kein eindeutiger signifikanter Zusammenhang nachgewiesen. Dahingegen deckte sich bei der Mehrheit der Probanden, unabhängig von Alter und Geschlecht, das subjektive Empfinden mit den Veränderungen der gemessenen Werte in Bezug auf die Durchgängigkeit der Nase.

Der Einfluss körperlicher Betätigung auf die Nasendurchgängigkeit wurde in der Literatur bisher nur vereinzelt untersucht, in diesen Fällen konnte eine signifikante Korrelation festgestellt werden. Dies deckt sich mit den in dieser Studie erhaltenen Ergebnisse. Da in anderen Studien nur eine Messtechnik Anwendung fand, konnte in dieser Arbeit durch die Kombination dreier modernster rhinologischer, funktionsdiagnostischer Messverfahren die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht werden.

Trotzdem muss beachtet werden, dass die Nase einer sehr komplexen Innervation unterliegt, die noch nicht abschließend erforscht ist. Deshalb geben die erhaltenen Messwerte zwar einen Hinweis auf das Verhalten des nasalen Gewebes, es kann aber aufgrund der diffizilen Ansteuerung keine abschließende und eindeutige Aussage getroffen werden.

Da an dieser Untersuchung nur nasengesunde Probanden teilnahmen, könnten durch Anwendung der drei kombinierten Messverfahren bei Patienten mit endonasalen Pathologien weiterführende Erkenntnisse zum Einfluss von körperlicher Belastung auf die Nase erlangt werden.

6 Literaturverzeichnis

1 Assanasen P, Baroody F.M, Haney L, deTineo M, Naureckas E, Solway J, Naclerio R.M: Elevation of the Nasal Mucosal Surface Temperature After Warming of the Feet Occurs Via a Neural Reflex. Acta Otolaryngol 123: 627-636 (2003)

2 Aydin S, Cingi C, San T, Ulusoy S, Orhan I: The effects of air pollutants on nasal functions of outdoor runners. Eur Arch Otorhinolaryngol 271: 713-717 (2014)

3 Baumann A, Masing H: Über den Einfluß körperlicher Arbeit auf den Nasenwiderstand. Laryngol Rhinol Otol Grenzgeb (Stuttg) 49: 264-270 (1970)

4 Boenninghaus H-G, Lenarz T: Nase, Nebenhöhlen und Gesicht. In: Boenninghaus H-G, Lenarz T (Hrsg) Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, 14. Aufl, Springer-Verlag, S. 137-161 (2012)

5 Bohn S: Verformbare Körper und Blutkreislauf. In: Schatz J, Tammer R (Hrsg) Erste Hilfe – Chemie und Physik für Mediziner. 3. Aufl, Springer Verlag Berlin-Heidelberg, S. 116-143 (2015)

6 Dallimore N.S, Eccles R: Changes in human nasal resistance associated with exercise, hyperventilation and rebreathing. Acta Otolaryngol 84: 416-421 (1977)

7 Drefs M: Biometrische Untersuchungen zum Einfluss klimatischer Faktoren auf die Morphologie der Cavitas nasi beim Menschen. Med Dissertation, Universität Greifswald (2012)

8 Eccles R: The central rhythm of the nasal cycle. Acta Otolaryngol 86: 464-468 (1978)

9 Enßen C: Funktionsdiagnostische Untersuchung gesunder Probanden zur Ermittlung rhinoresistometrischer, rhinomanometrischer und akustisch-rhinometrischer Referenzwerte. Med Dissertation, Universität Greifswald (2005)

10 Fonseca M.T, van Petten Machado J.A, Pereira S.A, Pinto K.M, Voegels R.L.: Effects of Physical Exercise in Nasal Volume. Braz J Otorhinolaryngol 72: 256-260 (2006)

11 Forsyth R.D, Cole P, Shephard R.J: Exercise and nasal patency. J Appl Physiol Respirat Environ Exerc Physiol 55: 860-865 (1983)

12 Fuchs R, Klaperski S, Gerber M, Seelig H: Messung der Bewegungs- und Sportaktivität mit dem BSA-Fragebogen. Eur J Health Psychol 23: 60-76 (2015)

13 Gehring J.M, Garlick S.R, Wheatley J.R, Amis T.C: Nasal resistance and flow resistive work of nasal breathing during exercise: effects of a nasal dilator strip. J Appl Physiol 89: 1114-1122 (2000)

14 Happersberger otopront GmbH, https://www.otopront.de/produkte/diagnose-und-therapie/rhino-sys.html (05.11.2018)

15 Hilberg O, Jackson A.C, Pedersen O.F, Swift D.L: Acoustic rhinometry: evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflection, J Appl Physiol 66: 295-303 (1989)

16 Jayme K: Die Bestimmung des nasalen Widerstandskoeffizienten mittels anteriorer Rhinomanometrie nach körperlicher Belastung (sog. MASTER-Test und Fahrradergometrie) bei Probanden mit freier und behinderter Nasenatmung. Med Dissertation, Universität Heidelberg (1973)

17 Knipping S: Untersuchungen zur Regulation der seromukösen Drüsen der respiratorischen Nasenschleimhaut des Menschen. Med Dissertation, Universität Halle-Wittenberg (2003)

18 Knipping S, Holzhausen H.J, Riederer A, Bloching M: Ultrastrukturelle Veränderungen der Nasenschleimhaut nach Abusus von topischen α-Sympathomimetika. HNO 54: 742-748 (2005)

19 Knipping S, Riederer A, Berghaus A: Nervale Regulation der respiratorischen Nasenschleimhaut. HNO 52: 471-489 (2004)

20 Krause J: Bewirken Lagewechsel und körperliche Aktivität Änderungen des Schwellungszustandes der Nasenschleimhaut bei starken Rauchern? Med Dissertation, Universität Jena (2011)

21 Leykauf R: Der Einfluß körperlicher Arbeit auf den Nasenwiderstand bei gut trainierten Sportlern. Med Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg (1972)

22 Lindemann J, Scheithauer M, Hoffmann T.K, Stupp F, Grossi A-S, Sommer F, Netzer S: Erstellung einer deutschen Version des „Nasal Obstruction Symptom Evaluation“ Fragebogens (NOSE©). Laryngo-Rhino-Otol 98: 562-567 (2019)

23 Maranta C.A, Simmen D: Abschwellende Nasensprays. Schweiz Med Wochenschr 126: 1875-1880 (1996)

24 Mlynski G: Anatomie der Nase aus Sicht des Rhinochirurgen. In: Mlynski G, Pirsig W (Hrsg) Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie unter besonderer Berücksichtigung physiologischer Aspekte. Georg Thieme Verlag, S. 14-24 (2018)

25 Mlynski G, Beule A.G: Präoperatives Management. In: Mlynski G, Pirsig W (Hrsg): Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie unter besonderer Berücksichtigung physiologischer Aspekte. Georg Thieme Verlag, S. 51-68 (2018)

26 Mlynski G, Lindemann J: Physiologie und Pathophysiologie der Nasenatmung. In: Mlynski G, Pirsig W (Hrsg): Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie unter besonderer Berücksichtigung physiologischer Aspekte. Georg Thieme Verlag, S. 25-49 (2018)

27 Ohki M, Hasegawa M, Kurita N, Watanabe I: Effects of Exercise on Nasal Resistance and Nasal Blood Flow. Acta Otolaryngol 104: 328-333 (1987)

28 Ott S: Patientenzufriedenheit nach Nasenseptumplastik. Med Dissertation, Universität Ulm (2014)

29 Ottaviano G, Ermolao A, Nardello E, Muci F, Favero V, Zaccaria M, Favero L: Breathing parameters associated to two different external nasal dilator strips in endurance athletes. Auris Nasus Larynx 44: 713-718 (2017)

30 Paulsen F: Nase. In: Waschke J, Böckers T, Paulsen F (Hrsg.) Anatomie. Das Lehrbuch. 1. Aufl, Elsevier GmbH München, S. 500-511 (2015)

31 Proband 2: persönliche Mitteilung (2018)

32 Proband 3: persönliche Mitteilung (2018)

33 Proband 19: persönliche Mitteilung (2018)

34 Proband 21: persönliche Mitteilung (2018)

35 Proband 25: persönliche Mitteilung (2018)

36 Proband 40: Persönliche Mitteilung (2020)

37 Riederer A, Knipping S, Toleti B: Überlegungen zur Dynamik des Schwellgewebes der unteren Nasenmuscheln des Menschen. Laryngo-Rhino-Otol 81: 469-475 (2002)

38 Saketkhoo K, Kaplan I, Sackner M.A: Effect of exercise on nasal mucous velocity and nasal airflow resistance in normal subjects. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 46: 369-371 (1979)

39 Schlüter H: Untersuchungen zum Nasenzyklus bei gesunden Probanden, Patienten mit Rhonchopathie und Patienten mit obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom. Med Dissertation, Universität Greifswald (2009)

40 Schmidt B: Aufenthalt im kühlen Wasser – Einfluss der Körperkernabkühlung auf den kalorischen Energieumsatz und die Motorik der Nasenschleimhaut. Med Dissertation, Universität Kiel (2016)

41 Schwarz G: Rhinomanometrische Untersuchungen zur thermischen Beeinflussung der Nasenventilation. HNO 46: 519-523 (1998)

42 Smith J.R, Cross T.J, Van Iterson E.H, Johnson B.D, Olson T.P: Resistive and elastic work of breathing in older and younger adults during exercise. J Appl Physiol 125: 190-197 (2018)

43 Statista GmbH, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/548361/umfrage/top-20-der-meistverkauften-arzneimittel-in-deutschland/ (24.03.2022)

44 Stewart M.G, Witsell D.L, Smith T.L, Weaver E.M, Yueh B, Hannley M.T: Development and validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) Scale. J Otolaryngol Head Neck Surg 130: 157-163 (2004).

45 Strobel G: Wechselwirkungen zwischen Katecholaminen, ß-Adrenozeptoren, akuter körperlicher Belastung und Training. Dtsch Z Sportmed 53: 102-106 (2002)

46 Tombu S, Daele J, Lefebvre P: Rhinomanometry and acoustic rhinometry in rhinoplasty. B-ENT 6: 3-11 (2010)

47 Weigel A: „Nasaler Schirmer-Test" zur Bestimmung des Feuchtezustands der Mukosa bei nasalen Pathologien. Med Dissertation, Universität Ulm (2016)

48 Wilde A.D: The effect of cold water immersion on the nasal mucosa. Clin Otolaryngol 24: 411-413 (1999)

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer nasengesunden Probandin auf dem Fahrradergometer der Marke Milon Industries GmbH im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung) 23

Abbildung 2: Schema des zeitlichen Ablaufes eines Studiendurchganges eines jeden Probanden (Quelle: eigene Abbildung) 25

Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der Nasenadapter für die akustische Rhinometrie des Rhino-SYS Messsystems im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung) 30

Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung der Durchführung der akustischen Rhinometrie an einer nasengesunden Probandin im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung) 31

Abbildung 5: Beispielhafte graphische Darstellung der akustischen Rhinometrie in der RHINO-SYS-Software (Version Beta V 3.72.5.100, Otopront GmbH) 32

Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Durchführung der Rhinomanometrie und der Rhinoresistometrie bei einer nasengesunden Probandin im Universitätsklinikum Ulm (Quelle: eigene Abbildung) 35

Abbildung 7: Beispielhafte graphische Darstellung der Rhinomanometrie in der RHINO-SYS-Software (Version Beta V.3.72.5.100, Otopront GmbH) 36

Abbildung 8: Beispielhafte graphische Darstellung der Rhinoresistometrie in der RHINO-SYS-Software (Version Beta V.3.72.5.100, Otopront GmbH) 39

Abbildung 9: Verlauf der MCA1-Flächenwerte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 44

Abbildung 10: Verlauf der MCA2-Flächenwerte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 46

Abbildung 11: Verlauf der Werte des Volumens 1 der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 47

Abbildung 12: Verlauf der Werte des Volumens 2 der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 48

Abbildung 13: Verlauf der Werte des inspiratorischen Flows der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 52

Abbildung 14: Verlauf der Werte des inspiratorischen Gesamtflows mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 53

Abbildung 15: Verlauf der Werte des exspiratorischen Flows der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 55

Abbildung 16: Verlauf der Werte des exspiratorischen Gesamtflows mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 56

Abbildung 17: Verlauf der inspiratorischen Resistance-Werte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 57

Abbildung 18: Verlauf der Werte der gesamten Resistance während der Inspiration mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 58

Abbildung 19: Verlauf der exspiratorischen Resistance-Werte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 59

Abbildung 20: Verlauf der Werte der gesamten Resistance während der Exspiration mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 60

Abbildung 21: Verlauf der inspiratorischen Widerstands-Werte der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 65

Abbildung 22: Verlauf der Werte des hydraulischen Durchmessers der rechten und linken Nasenseite mit Angabe der p-Werte, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 67

Abbildung 23: Verlauf der Werte der inspiratorischen Turbulenz der rechten und linken Nasenseite in Millilitern pro Sekunde, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 69

Abbildung 24: Schwellungsgefühl oder Verstopfung der Nase vor Belastung bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 72

Abbildung 25: Verengung oder Blockade der Nase vor Belastung bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 73

Abbildung 26: Schwierigkeiten beim Atmen durch die Nase vor Belastung bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 74

Abbildung 27: Unfähigkeit, während körperlicher Anstrengung genügend Luft durch die Nase zu bekommen bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 74

Abbildung 28: Probleme beim Schlafen, genügend Luft durch die Nase zu bekommen bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 75

Abbildung 29: Schwellungsgefühl oder Verstopfung der Nase nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 76

Abbildung 30: Verengung oder Blockade der Nase nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 77

Abbildung 31: Schwierigkeiten, durch die Nase genügend Luft zu bekommen nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 77

Abbildung 32: Subjektive Erweiterung der Nase nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 78

Abbildung 33: Vermehrte Schleimbildung nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 79

Abbildung 34: Vermehrtes Bedürfnis, die Nase zu putzen nach 30-minütigem Fahren auf dem Fahrradergometer bei nasengesunden Probanden (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bisherige Veröffentlichungen über den Einfluss körperlicher Belastung auf die Nase (Quelle: eigene Darstellung)..... 10

Tabelle 2: Mögliche Einflussfaktoren auf die Nase (Quelle: eigene Darstellung)..... 15

Tabelle 3: Medianwerte der Variablen der akustischen Rhinometrie mit Angabe einer möglichen signifikanten Korrelation, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 49

Tabelle 4: Medianwerte der Variablen der Rhinomanometrie mit Angabe einer möglichen signifikanten Korrelation, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 62

Tabelle 5: Medianwerte der Variablen der Rhinoresistometrie mit Angabe einer möglichen signifikanten Korrelation, gemessen an nasengesunden Probanden zu verschiedenen Messzeitpunkten vor und nach Belastung auf dem Fahrradergometer (Universitätsklinikum Ulm, 2018-2020) 70

Fragebögen

Fragebogen vor Belastung

FRAGEBOGEN VOR BELASTUNG

Einfluss von körperlicher Belastung auf die Nasendurchgängigkeit beim Menschen, bewertet mit Hilfe der Messmethoden Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie

Datum:

Persönlicher Anonymisierungscode: Bitte nehmen Sie dazu die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter und das Geburtsjahr Ihres Vaters

(Bsp: Anna Müller, Geburtstag des Vaters: 01.02.1954 **AN1954**)

Geschlecht: o männlich o weiblich

Alter: _____ Jahre

Vorerkrankungen/ Risikofaktoren:

Herzerkrankung:	Nein	Ja, welche?
Lungenerkrankung:	Nein	Ja, welche?
Rauchen:	Nein	Ja, wie viele Zigaretten pro Tag?
Sportliche Aktivität:	Nein	Ja, wie oft pro Woche?
Ausdauersport:	Nein	Ja, wie oft pro Woche?

Subjektive Nasenbeschwerden:

Schwellungsgefühl oder Verstopfung der Nase	Nein	Ja, 1 2 3 4
Verengung oder Blockade der Nase	Nein	Ja, 1 2 3 4
Schwierigkeiten beim Atmen durch die Nase	Nein	Ja, 1 2 3 4
Probleme beim Schlafen	Nein	Ja, 1 2 3 4
Unfähigkeit, bei körperlicher Betätigung oder Anstrengung genügend Luft durch die Nase zu bekommen	Nein	Ja, 1 2 3 4

1 = geringes Problem, 2 = mäßiges Problem, 3 = großes Problem, 4 = schwerwiegendes Problem

Körperliche Untersuchung:

Äußere Nasenformveränderung:	Nein	Ja, Grad 1 2 3
Nasenmuschelhypertrophie:	Nein	Ja, Grad 1 2 3
Nasenseptumdeviation:	Nein	Ja, Grad 1 2 3
Nasenpolypen:	Nein	Ja, Grad 1 2 3
Nasenleiste:	Nein	Ja, Grad 1 2 3

1 = gering vergrößert 2 = mäßig vergrößert, 3 = stark vergrößert

Sonstige Anmerkungen:

_____

_____

Zur Studie zugelassen: NEIN JA

Fragebogen nach Belastung

FRAGEBOGEN NACH BELASTUNG

Einfluss von körperlicher Belastung auf die Nasendurchgängigkeit beim Menschen, bewertet mit Hilfe der Messmethoden Rhinometrie, Rhinomanometrie und Rhinoresistometrie

Datum:

Kennung:

Geschlecht: o männlich o weiblich

Alter: _____ Jahre

Subjektive Veränderung der Nasendurchgängigkeit während/nach körperlicher Belastung:

Schwellungsgefühl/Verstopfung der Nase	Nein	Ja
Verengung/Blockade der Nase	Nein	Ja
Schwierigkeiten, durch die Nase Luft zu bekommen	Nein	Ja
Erweiterung der Nase	Nein	Ja
Vermehrte Schleimbildung	Nein	Ja
Vermehrtes Bedürfnis, die Nase putzen zu müssen	Nein	Ja

Sonstige Anmerkungen:

_____

_____

_____

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Professor Dr. med. Jörg Lindemann, der mir die Möglichkeit bot, diese Dissertation zu verfassen und mich während des gesamten Erstellungsprozesses stets unterstützend und motiviert betreute.

Zudem bedanke ich mich bei allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der klinischen Studie, die durch ihre Mitwirkung maßgeblich an dem Erfolg dieser Arbeit beteiligt waren und ohne deren Mithilfe die Durchführung so nicht möglich gewesen wäre.

Zuletzt danke ich meiner Familie für die Unterstützung während meines gesamten Bildungswegs.

Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.