

Aus der Klinik für Innere Medizin  
Schwerpunkt Pneumologie  
Direktor: Prof. Dr. med. C. Vogelmeier, Fachbereich Medizin,  
der Philipps-Universität Marburg

**Einfluss des Ganzkörpervibrationstrainings auf die körperliche  
Leistungsfähigkeit von Patienten mit milder bis schwerer COPD**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin,  
dem Fachbereich der Medizin der Philipps-Universität Marburg, vorgelegt von

Anja Klutsch aus St. Petersburg  
Marburg 2020

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am  
20.01.2020

Beim Druck der Pflichtexemplare Daten der Disputation eintragen

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Prof. Dr. A. Koczulla

1. Korreferent: Prof. Dr. R. Beneke

## INHALTSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> .....   | 5  |
| <b>Tabellenverzeichnis</b> .....   | 6  |
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | 10 |
| <b>Abstract</b> .....  | 12 |
| <b>1. Einleitung</b> .....   | 13 |
| 1.1. Definition der COPD .....   | 13 |
| 1.2. Epidemiologie .....   | 14 |
| 1.3. Ätiologie.....  | 16 |
| 1.4. Pathophysiologie .....  | 18 |
| 1.5. Exazerbation.....   | 20 |
| 1.6. Diagnostik der COPD.....  | 22 |
| 1.6.1. Standarddiagnostik .....  | 22 |
| 1.6.1.1. Lungenfunktionsdiagnostik.....                                      | 22 |
| 1.6.1.2. 6-Minuten-Gehtest (6 MWD) .....                                     | 23 |
| 1.6.1.3 CAT .....  | 21 |
| 1.6.2. Weiterführende Diagnostik.....  | 25 |
| 1.6.2.1. Five-Times-Sit-to-Stand-Test (FTSTST).....                          | 25 |
| 1.6.2.2. Saint George Respiratory Questionnaire (SGRQ).....                  | 27 |
| 1.6.2.3. Modified British Medical Research Council (mMRC) .....              | 28 |
| 1.7. Schweregrade.....   | 29 |
| 1.8. Komorbiditäten und extrapulmonale Manifestationen.....                  | 32 |
| 1.9. Therapie .....  | 34 |
| 1.9.1. Medikamentöse Therapie der stabilen COPD .....                        | 35 |
| 1.9.2. Nicht-medikamentöse Therapie .....                                    | 37 |
| 1.10. Wirkung und Einsatz von Vibrationsmuskeltraining in der Therapie ..... | 44 |
| 1.10.1. Definition der Vibration.....  | 44 |
| 1.10.2. Ganzkörpervibrationstraining (Whole Body Vibration Training) .....   | 44 |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.10.3. Wirkung des WBVT .....  | 47        |
| 1.10.4. WBVT für COPD-Patienten .....                                       | 49        |
| <b>2. Fragestellung</b> .....   | <b>51</b> |
| <b>3. Methodik</b> .....  | <b>52</b> |
| 3.1. Probanden .....  | 52        |
| 3.2. Studiendesign .....  | 53        |
| 3.3. Untersuchungsablauf .....  | 54        |
| 3.3.1. Anthropometrie .....   | 54        |
| 3.3.2. Lungenfunktionsuntersuchung .....                                    | 54        |
| 3.3.3. 6-Minuten-Gehtest (6MWD) .....                                       | 55        |
| 3.3.4. BORG-Skala .....   | 56        |
| 3.3.5. Five-Times-Sit-To-Stand-Test (FTSTST) .....                          | 57        |
| 3.3.6. Legpress Peak Force .....  | 58        |
| 3.3.7. Einbeinstand (OLS).....  | 59        |
| 3.3.8. Berg Balance Skala (BBS) .....                                       | 59        |
| 3.3.9. Lebensqualität .....   | 60        |
| 3.3.10. Sonographische Muskelplanometrie .....                              | 60        |
| 3.4. Trainingsablauf .....  | 61        |
| 3.4.1. Trainingsgerät Galileo® .....  | 61        |
| 3.4.2. Aufbau der Trainingseinheiten mit der Galileo®-Vibrationsplatte..... | 62        |
| 3.4.3. Aufbau des Trainings der Kontrollgruppe (CTG) .....                  | 66        |
| 3.4.4. Statistik .....  | 66        |
| <b>4. Ergebnisse</b> .....  | <b>68</b> |
| 4.1. Anthropometrie .....   | 68        |
| 4.1.1. Probandencharakteristika .....                                       | 68        |
| 4.1.2. Verteilung der COPD-Schweregrade .....                               | 70        |
| 4.1.3. Komorbiditäten.....  | 71        |
| 4.1.4. Drop-Outs .....  | 73        |
| 4.2. Intra-Gruppenvergleich .....   | 73        |
| 4.2.1. WBVT .....   | 73        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.2. CTG .....                                | 76         |
| 4.3. Inter-Gruppenvergleich .....               | 78         |
| <b>5. Diskussion .....</b>                      | <b>84</b>  |
| 5.1. Anthropometrie und Probandenkollektiv..... | 84         |
| 5.2. Körperliche Leistungsfähigkeit .....       | 85         |
| 5.2.1. 6-Minuten-Gehtest .....                  | 85         |
| 5.2.2. Five-Times-Sit-To-Stand-Test.....        | 88         |
| 5.2.3. Gleichgewicht .....                      | 89         |
| 5.2.4. Muskelkraft .....                        | 92         |
| 5.3. Muskelsonographie.....                     | 95         |
| 5.4. Lungenfunktion .....                       | 96         |
| 5.5. Lebensqualität .....                       | 97         |
| 5.5.1. SGRQ .....                               | 98         |
| 5.5.2. CAT .....                                | 100        |
| 5.6. Drop-Outs .....                            | 101        |
| 5.7. Vibrationstraining .....                   | 103        |
| 5.8. Limitationen .....                         | 104        |
| 5.9. Schlussfolgerung und Ausblick .....        | 107        |
| <b>Literaturverzeichnis.....</b>                | <b>110</b> |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>              | <b>128</b> |
| <b>Anhang.....</b>                              | <b>129</b> |
| <b>Danksagungen .....</b>                       | <b>140</b> |
| <b>Lebenslauf .....</b>                         | <b>142</b> |
| <b>Ehrenwörtliche Erklärung.....</b>            | <b>144</b> |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| ABBILDUNG 1: AUSWIRKUNGEN DER COPD IM „CIRCULUS VITIOSUS“ NACH DER LEITLINIE DER DEUTSCHEN ATEMWEGSLIGA UND DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR PNEUMOLOGIE UND BEATMUNGSMEDIZIN [1, 2] .....   | 14 |
| ABBILDUNG 2: ABFOLGE DER KRITERIEN ZUR EINSCHÄTZUNG DES COPD-SCHWEREGRADES EINES PATIENTEN (IN ANLEHNUNG AN [45]).....   | 30 |
| ABBILDUNG 3: ABCD-SCHEMA (IN ANLEHNUNG AN DAS GOLD-SCHEMA) ZUR RISIKOABSCHÄTZUNG UND EINTEILUNG ANHAND VON SYMPTOMSTÄRKE UND ANZAHL DER EXAZERBATIONEN [1, 14].....  | 31 |
| ABBILDUNG 4: SYSTEMISCHE MANIFESTATIONEN DER COPD (SCHAUBILD MODIFIZIERT NACH [66]).....   | 34 |
| ABBILDUNG 5: STANDPOSITION AUF EINER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE, GENEHMIGT VON GALILEO®, NOVOTEC MEDICAL GMBH [90] .....  | 46 |
| ABBILDUNG 6: TRAININGSINTENSITÄTEN 1 - 3 AUF OBERFLÄCHE EINER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE, DER PROBAND HAT MITTLERE TRAININGSINTENSITÄT (2) GEWÄHLT, GENEHMIGT VON SUSANNE SCHÖLLENBERGER, SCHRITT FÜR SCHRITT THERAPIE [94] ..... | 46 |
| ABBILDUNG 7: BEWEGUNGSABLAUF BEIM FIVE-TIMES-SIT-TO-STAND-TEST [122]....   | 57 |
| ABBILDUNG 8: PROBAND IN STANDPOSITION AUF DER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE .....  | 62 |
| ABBILDUNG 9: FLUSSDIAGRAMM ZUR DARSTELLUNG DER GEFRAGTEN, REKRUTIERTEN UND ANALYSIERTEN PROBANDEN DER STUDIE.....  | 68 |
| ABBILDUNG 10: VERTEILUNG DER COPD-SCHWEREGRADE I, II UND III IM PATIENTENKOLLEKTIV .....   | 70 |
| ABBILDUNG 11: VERTEILUNG DER COPD-SCHWEREGRADE I, II UND III IN DEN GRUPPEN .....  | 71 |
| ABBILDUNG 12: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES 6MWD VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL IN DER WBVT (P = 0,001) .....   | 73 |
| ABBILDUNG 13: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES FTSTST VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL IN DER WBVT (P = 0,001) .....   | 75 |

|  |    |
|--|----|
| ABBILDUNG 14: VERGLEICH DER MITTELWERTE DER LEG PRESS PEAK FORCE VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL IN DER WBVT (P = 0,001) .....               | 75 |
| ABBILDUNG 15: GRUPPENVERGLEICH DER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN IN DER WBVT UND CTG VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL (P = 0,001)..... | 78 |
| ABBILDUNG 16: GRUPPENVERGLEICH DER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN IN DER WBVT UND CTG VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL (P = 0,008)..... | 79 |
| ABBILDUNG 17: GRUPPENVERGLEICH DER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN IN DER WBVT UND CTG VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL (P<0,001) .....  | 80 |

## TABELLENVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| TABELLE 1: HÄUFIGSTE ZUM TODE FÜHRENDE ERKRANKUNGEN WELTWEIT [3] .....  | 15 |
| TABELLE 2: EXOGENE UND ENDOGENE RISIKOFAKTOREN DER COPD [1].....  | 16 |
| TABELLE 3: MMRC SKALA [43] .....  | 29 |
| TABELLE 4: EINTEILUNG DER ATEMWEGSOBSTRUKTION IN DIE GOLD-GRUPPEN 1 - 4<br>ENTSPRECHEND DER FEV <sub>1</sub> .....      | 30 |
| TABELLE 5: AUSWAHL HÄUFIGER KOMORBIDITÄTEN VON COPD-PATIENTEN.....  | 32 |
| TABELLE 6: HÄUFIGE MEDIKAMENTENKLASSEN IN DER COPD-THERAPIE [1].....  | 36 |
| TABELLE 7: STUFENSHEMA DER DAUERThERAPIE BEI COPD [1].....  | 37 |
| TABELLE 8: ORIGINALE BORG CR10 SKALA (1982), INS DEUTSCHE ÜBERSETZT [111].<br>.....                                     | 56 |
| TABELLE 9: ABLAUF EINES TRAININGSTERMINS IN DER WBVT-GRUPPE .....   | 63 |
| TABELLE 10: ÜBERSICHT ÜBER TRAININGSUMFANG, FREQUENZ UND INTENSITÄT [127]<br>.....                                      | 64 |
| TABELLE 11: TRAININGSPLAN FÜR DAS WBVT IM ERSTEN MONAT [127].....   | 65 |
| TABELLE 12: TRAININGSPLAN FÜR DAS WBVT IM ZWEITEN MONAT [127] .....   | 65 |
| TABELLE 13: TRAININGSPLAN FÜR DAS WBVT IM DRITTEN MONAT [127] .....   | 65 |
| TABELLE 14: ANTHROPOMETRISCHE DATEN DER PROBANDEN (BMI: BODY MASS<br>INDEX).....  | 69 |
| TABELLE 15: KOMORBIDITÄTEN IM GESAMTEN STUDIENKOLLEKTIV .....   | 71 |
| TABELLE 16: ARTEN DER KOMORBIDITÄTEN UND VERTEILUNG IN WBVT UND CTG ..  | 72 |
| TABELLE 17: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE DES 6MWD<br>UND 6MWD-%PRED IN DER WBVT .....                  | 74 |
| TABELLE 18: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE DES 6MWD<br>UND 6MWD-%PRED IN DER CTG .....                   | 76 |
| TABELLE 19: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE DER<br>GLEICHGEWICHTSPARAMETER OLS UND BBS IN DER CTG .....   | 77 |
| TABELLE 20: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE IN WBVT UND<br>CTG FÜR DIE EINZELNEN KATEGORIEN DES SGRQ..... | 81 |
| TABELLE 21: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE IN WBVT UND<br>CTG FÜR DEN CAT .....                          | 82 |



TABELLE 22: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE IN WBVT UND CTG FÜR DIE SONOGRAFISCH ERMITTELTEN MUSKELDURCHMESSER DES M. RECTUS FEMORIS UND M. INTERMEDIUS..... 83

## ZUSAMMENFASSUNG

COPD-Patienten leiden neben Dyspnoe häufig an Komorbiditäten wie Sarkopenie, Depression und Angst. Die Folge können körperliche Leistungseinschränkungen sein, die wiederum dazu führen, dass körperliche Aktivitäten wie Sport vermieden werden. Aus Angst vor dem verstärkten Auftreten der Symptome schonen sich die Patienten stattdessen. Nachweislich profitieren COPD-Patienten deutlich von sportlichen Aktivitäten. Das Ganzkörpervibrationstraining (WBVT), welches bereits im Mittelpunkt zahlreicher Studien stand, scheint eine geeignete und schonende Trainingsmethode für COPD-Patienten zu sein. In vielen Fällen wurde gezeigt, dass das WBVT schon nach kurzen Anwendungszeiten zu Verbesserungen der Lebensqualität, der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Muskelkraft führt.

In der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen eines 12-wöchigen WBVT auf COPD-Patienten der Schweregrade I bis III untersucht. Die Studie sollte zeigen, ob das WBVT im Vergleich zu einem herkömmlichen Kraft-/Ausdauertraining (Lungensporttraining) stärkere Auswirkungen auf körperliche Leistungsfähigkeit, Lungenfunktion, Muskelkraft, Gleichgewicht und Lebensqualität hat. In die Studie wurden 29 COPD-Patienten im Alter von über 65 Jahren eingeschlossen, beendet wurde sie von 27 Patienten (männlich: 14, weiblich: 13). Sie wurden in zwei Gruppen randomisiert. Eine Gruppe diente als Kontrollgruppe (CTG) und absolvierte ein konventionelles Lungensporttraining, bestehend aus Atemübungen, leichten Gymnastikübungen und Entspannungstechniken. Die Interventionsgruppe trainierte zwei- bis dreimal wöchentlich 3 mal 3 Minuten auf der Galileo®-Vibrationsplatte nach einem 10-minütigen Aufwärmtraining. Die Vibrationsfrequenzen lagen zwischen 8 und 24 Hertz und wurden sukzessive gesteigert.

Nach Ablauf des 12-wöchigen Trainingsintervalls kam es in der WBVT-Gruppe zu signifikanten Verbesserungen der primären Endpunkte 6MWD und FTSTST. Auch kam es zum signifikanten Anstieg der Muskelkraft der unteren Extremitäten. Weiterhin hatte das WBVT positive Einflüsse auf das Gleichgewicht der Probanden. Bei der Lebensqualität konnte lediglich eine tendenzielle Steigerung beobachtet werden.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein 12-wöchiges Ganzkörpervibrationstraining im Vergleich zu einer herkömmlichen

Trainingsmethode einen deutlich stärkeren Anstieg der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Muskelkraft der unteren Extremitäten bewirkt. Auch führt es zu Verbesserungen der Gleichgewichtsfähigkeit sowie zu einer Verbesserung der Lebensqualität.

Eine Integration des WBVT in pneumologische Rehabilitationsmaßnahmen ist somit in Zukunft zu erwägen.

## **ABSTRACT**

Patients with COPD often suffer not only from dyspnea but also from comorbidities like effective cough, sarcopenia and depressive symptoms. The consequences are a decrease of exercise capacity and they retreat from daily life and activities. Being scared of breathlessness and further incline of the symptoms, patients avoid exercising and sports.

This study was designed to evaluate the effects of a 12-week low-volume out-patient whole body vibration training (WBVT) program on exercise capacity in comparison with a calisthenics training (CTG) in subjects with mild to severe COPD. In a randomized control trial study with parallel group design 29 subjects with mild to severe COPD were randomly divided into two groups: WBVT or CTG. Both groups exercised for 12 weeks with 2 sessions of 30 minutes per week. The protocol of training in the WBVT-group consisted of a 10 minute warm-up and a 3 x 3 minute training unit performing a static squat on a side-alternating vibration platform (Galileo®). The CTG did calisthenics training, including relaxation and breathing retraining in combination with calisthenics exercises.

The outcome parameters were 6-min walk distance (6MWD), 5-repetition sit-to-stand-test (FTSTST), leg press peak force, Berg balance scale (BBS), St. George Respiratory Questionnaire (SGRQ) and COPD-assessment test (CAT).

At the end of the 12-week-training subjects in the WBVT group significantly improved 6MWD, FTSTST, leg press peak force and BBS. Therefore the WBVT had beneficial effects on the exercise capacity, the peak force of the lower extremities and the postural control of the subjects. In the CTG there was only a significant improvement of the CAT.

These results lead to the conclusion that a low-volume WBVT program shows significant and clinically-relevant improvements in exercise capacity compared with calisthenics exercises in subjects with mild to severe COPD.

## 1. EINLEITUNG

### 1.1. DEFINITION DER COPD

„Ich merke, dass die Atmung immer schwerer fällt und sich selbst der Weg vom Wohnzimmer zur Küche anfühlt, als hätte ich Betonstiefel an. Ich fühle mich sehr schwach und sogar kleine Bewegungen fallen mir schwer.“

*Zitat eines Patienten aus der Untersuchung „Hidden Depths of COPD“, 2011.1*

Der Terminus COPD leitet sich vom englischen Begriff „chronic obstructive pulmonary disease“ ab und steht für „chronisch obstruktive Lungenerkrankung“. Charakteristisch für die COPD ist eine persistierende Atemwegsobstruktion, die in der Regel progredient ist.

Ursächlich für die Atemwegsobstruktion kann die obstruktive Bronchiolitis sein, bei der es zur Entzündung der Bronchioli kommt oder das Emphysem, das durch Destruktion von Lungengewebe entsteht. Die Anteile beider Prozesse an der Ausprägung des Krankheitsbildes unterscheiden sich dabei individuell.

Ein Großteil der COPD-Patienten leidet an den Symptomen der chronischen Bronchitis, die von der WHO (World Health Organisation) als Vorhandensein von Husten und Auswurf über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten über zwei aufeinanderfolgende Jahre definiert werden [1].

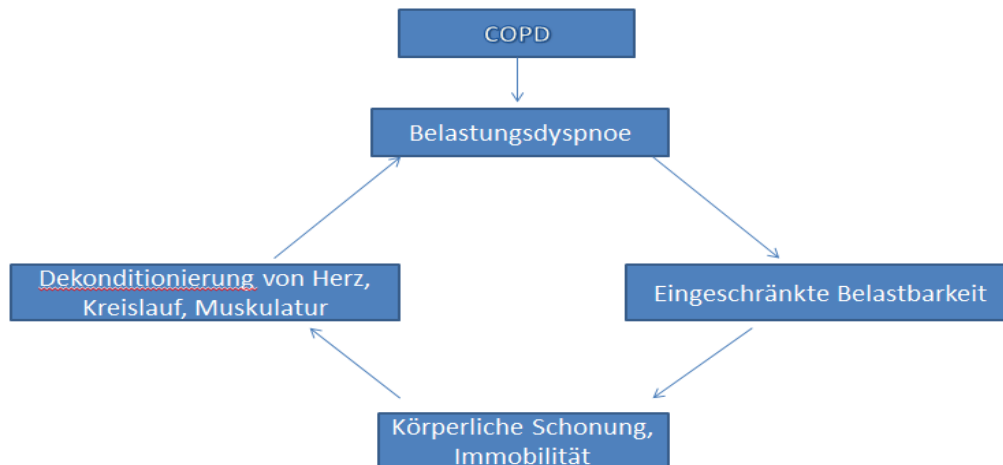
Inhalatives Tabakrauchen ist der wichtigste Risikofaktor für die Entstehung der COPD.

In selteneren Fällen können auch genetische Erkrankungen, wie der Alpha-1-Antitrypsinmangel oder häufige Bronchialinfekte ursächlich sein. Die Progredienz der COPD kann durch Medikamente wie Bronchodilatoren oder Glukokortikoide zwar verlangsamt werden, dennoch ist sie nicht reversibel. Eine kurative Therapie gibt es nicht.

Obwohl die COPD vor allem die Lunge betrifft, kommt es im Verlauf der Erkrankung zu wesentlichen systemischen Auswirkungen. So lässt sich bereits in frühen Stadien der Erkrankung eine verminderte körperliche Aktivität nachweisen, die dazu führt, dass Patienten Belastungen meiden.

Abbildung 1 zeigt, dass sich die Patienten in einem „Circulus vitiosus“ wiederfinden, in dem die abnehmende körperliche Aktivität zur Zunahme der Symptome führt [1].

Daraus lässt sich schließen, dass körperliche Inaktivität eine zentrale Rolle für die Progredienz der Erkrankung spielt und wesentlich zum Abwärtstrend der Krankheitsspirale beiträgt [1].



**ABBILDUNG 1: AUSWIRKUNGEN DER COPD IM „CIRCULUS VITIOSUS“ NACH DER LEITLINIE DER DEUTSCHEN ATEMWEGSLIGA UND DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR PNEUMOLOGIE UND BEATMUNGSMEDIZIN [1, 2]**

## 1.2. EPIDEMIOLOGIE

Die COPD ist die häufigste chronische Lungenerkrankung weltweit und eine bedeutende Ursache von Morbidität und Mortalität. Im Jahr 2012 starben über 3 Millionen Menschen daran, was 6 % der weltweiten Todesfälle in dem Jahr entsprach [3].

Laut Vorhersagen der WHO wird die Erkrankung im Jahre 2030 an dritter Stelle der häufigsten Todesursachen weltweit stehen [3].

Tabelle 1 zeigt die fünf weltweit häufigsten Todesursachen im Jahr 2015. Dem gegenübergestellt sind die Schätzungen der World Health Organisation (WHO) für das Jahr 2030.

**TABELLE 1: HÄUFIGSTE ZUM TODE FÜHRENDE ERKRANKUNGEN WELTWEIT [3, 4]:**

| <b>2015</b>                                     | <b>2030</b>                                     |
|---|---|
| 1. Ischämische Herzkrankheit                    | 1. Ischämische Herzkrankheit                    |
| 2. Schlaganfall                                 | 2. Schlaganfall                                 |
| 3. Infektion des unteren Respirationstraktes    | <b>3. Chronisch obstruktive Lungenkrankheit</b> |
| <b>4. Chronisch obstruktive Lungenkrankheit</b> | 4. Infektion des unteren Respirationstraktes    |
| 5. Durchfallerkrankung                          | 5. Diabetes mellitus                            |

Die COPD ist eine Erkrankung, die wenig im Fokus sowohl von Ärzten als auch von Patienten steht. Häufig bleibt sie lange undiagnostiziert [5]. Aus diesem Grund hat die WHO im Jahre 2002 die „Burden of Chronic Obstructive Lung Disease“ Initiative (BOLD) ins Leben gerufen. Sie diente dazu, in mehreren Ländern auf allen Kontinenten der Welt eine Prävalenzbestimmung und Analyse der Risikofaktoren für COPD durchzuführen. Im Jahr 2007 wurde die Region Hannover im Zuge dieser Initiative repräsentativ für Deutschland untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die COPD bei 7,7 % der Erkrankten diagnostiziert war. Die Gesamt-Prävalenz der Erkrankung wurde auf 13,3 % geschätzt, davon hatten die „Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease“ GOLD-Stadien I und II die größten Anteile (GOLD I: 7,4 %, GOLD II: 4,8 %) [5].

Die verursachten Kosten der Erkrankung sind hoch und stellen eine wesentliche sozioökonomische Belastung dar [1]. Die Pro-Kopf-Ausgaben belaufen sich

jährlich auf 1.212 € bis 3.492 € [6], die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten im Jahr 2001 lagen zwischen 2,6 Milliarden € und 8,2 Milliarden € [7].

Die direkten Kosten stellen Arzneimittel- und Medikamentenkosten dar. Zu den indirekten Kosten gehören vorübergehende Arbeitsunfähigkeit und frühzeitige Verrentung [6] .

Um volkswirtschaftliche Kosten abzuschätzen, ermittelte Fletcher et al. 2011 durch telefonische Befragung von 40- bis 65-jährigen COPD-Patienten die entstandenen Kosten aufgrund von verlorenen Arbeitsstunden. Diese wurden pro Person auf 923 US Dollar jährlich geschätzt [8]. Die enorme ökonomische Auswirkung der COPD auf die Gesellschaft macht deutlich, wie wichtig Interventionen, Prävention und Krankheitsmanagement, besonders in der berufstätigen Bevölkerung, sind [9].

### *1.3. ÄTIOLOGIE*

Die Entstehung der COPD beruht auf einem heterogenen Prozess und ist bei jedem Patienten individuell. Es kommt dabei zu einer Interaktion zwischen genetischen Risikofaktoren und verschiedensten Umwelteinflüssen. Inhalativer Nikotinkonsum stellt dabei den Hauptrisikofaktor dar [1].

In Tabelle 2 sind sowohl die exogenen als auch endogenen Risikofaktoren aufgeführt, die für die Entstehung der COPD von Bedeutung sind [1].

### **TABELLE 2: EXOGENE UND ENDOGENE RISIKOFAKTOREN DER COPD [1]:**



**Exogene Risikofaktoren:**

- inhalativer Nikotinkonsum  
(und Tabakkonsum)
- berufsbedingte Stäube
- allgemeine Luftverschmutzung
- virale und bakterielle  
Atemwegsinfekte

**Endogene Risikofaktoren:**

- genetische Disposition  
(z. B. Alpha-1-Antitrypsinmangel)
- gestörtes Lungenwachstum
- bronchiale Hyperreaktivität

Unter dem endogenen Risikofaktor wird der Alpha-1-Antitrypsinmangel unter genetischer Disposition aufgeführt. Dabei handelt es sich um eine Erbkrankheit, die durch einen Gendefekt zu einem Mangel des Enzyms Alpha-1-Antitrypsin führt.

Der Enzymmangel führt zum Verlust antiinflammatorischer und antiproteolytischer Funktionen, da die Hemmung der neutrophilen Serinprotease nicht mehr gewährleistet ist. Durch vermehrte Inflammationen im Lungengewebe ist das Risiko für die Entstehung der COPD bei diesen Patienten erhöht.

Patienten mit dem Alpha-1-Protease-Inhibitor-Mangel haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, durch die Exposition gegenüber exogenen Noxen an COPD zu erkranken als z. B. Nicht-Raucher mit demselben Gendefekt [10].

Besonders bei jüngeren und nicht-rauchenden Patienten (< 50 Jahre) ist eine Laboruntersuchung bezüglich des Alpha-1-Protease-Inhibitor-Mangels nötig und wird von der WHO gefordert [11].

Auch soziale Faktoren und der sozioökonomische Status spielen bei der Entstehung der COPD eine Rolle. So arbeitete Härtel et al. bereits 1993 heraus, dass Bevölkerungsgruppen mit einem niedrigen Bildungsstandard ein stärkeres Rauchverhalten aufweisen als Gruppen mit höherem Bildungsstandard [12].

Laut der „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland“ rauchen ca. 30 % der erwachsenen Bevölkerung, was 20 Millionen Deutschen entspricht. Der Anteil rauchender Männer aller Altersgruppen an der Gesamtbevölkerung liegt bei 33 %, der Anteil der Raucherinnen liegt mit 27 % dahinter.

Obwohl in allen Altersgruppen mehr Männer rauchen, nähern sich die Zahlen einander an [13].

#### 1.4. PATHOPHYSIOLOGIE

An der Entstehung der COPD sind zahlreiche Vorgänge beteiligt, die zu den charakteristischen strukturellen und funktionellen Veränderungen führen.

Zu den pathologischen Veränderungen bei COPD-Patienten gehört vor allem eine chronische Inflammation, die auf inhalative Noxen, wie das Zigarettenrauchen, zurückgeführt werden kann. In der Lunge werden dabei erhöhte Zahlen spezifischer inflammatorischer Zelltypen nachgewiesen [14].

Chemokine, die im Zuge der Entzündungsreaktion freigesetzt werden, locken neutrophile Granulozyten, Makrophagen, CD8+-Lymphozyten an.

Diese Immunzellen setzen Entzündungsmediatoren frei, wie Interleukin-8 (ILN-8), Leukotriene B-4 (LTB 4) und Tumornekrosefaktor  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), welche Parenchymschäden verursachen [15].

Es ist nachgewiesen, dass sich die Ausprägung dieser inflammatorischen Reaktion auf inhalative Noxen bei COPD-Patienten von der Reaktion gesunder Probanden auf denselben irritativen Reiz unterscheidet. Genaue Ursachen dafür sind noch nicht vollständig erforscht, allerdings ist bekannt, dass oxidativer Stress sowie ein Ungleichgewicht zwischen Proteasen und Prosteaseinhibitoren diese Reaktion modellieren.

Oxidativer Stress stellt ein ungleiches Verhältnis zwischen Oxidantien und Antioxidantien dar. Oxidantien werden sowohl exogen durch inhalative Noxen in Form von „reactive nitrogen species“ (RNS) aufgenommen als auch endogen von aktivierten inflammatorischen Zellen, wie Makrophagen und neutrophile Granulozyten, in Form von „reactive oxygen species“ (ROS) freigesetzt, zu denen Peroxynitrit und Nitrotyrosin gehören [16, 17].

Im Sputum und in Blutproben von COPD-Patienten können erhöhte Biomarker oxidativen Stress, z. B. 8-Isoprostan, Hydrogenperoxid, nachgewiesen werden. Gleichzeitig wird bei COPD-Patienten eine Reduktion endogener Antioxidantien vermutet, was auf eine Reduktion des Transkriptionsfaktors Nrf2 zurückgeführt wird.

Ein weiteres pathogenetisches Element stellt das Protease-Antiprotease-Ungleichgewicht dar.

Makrophagen und neutrophile Granulozyten setzen im Rahmen der Inflammation zahlreiche Proteasen frei, zu denen neutrophile Elastase, Proteinase-3, Matrix-Metallproteinase (MMP) und Cathepsine gehören.

Diese Proteasen spalten Proteine der Extrazellulärmatrix, so dass Kollagen und Elastinfasern des Lungenparenchyms geschädigt werden und es zum „Remodelling“ des gesunden Gewebes kommt [18]. Auch der Mangel des Proteins „tissue inhibitor of metalloproteinases-3“ (TIMP-3) konnte mit dem Auftreten des Emphysems in Verbindung gebracht werden [16].

Auch die oben genannten Oxidantien tragen zur Inaktivierung der Antiproteinasen, z. B. alpha-1-Antitrypsin, bei. Dies führt ebenfalls zu einem verstärkten Elastinabbau im Lungenparenchym und fördert die Entwicklung eines Lungenemphysems [19].

Diese pathologischen Vorgänge führen zur Abnahme der Lungenelastizität, was in einer Zunahme des Residualvolumens (RV) resultiert. Fibrose und Inflammation der kleinen Atemwege führen zur Reduktion der Einsekundenkapazität (FEV1) und der relativen Sekundenkapazität bzw. Tiffenau-Index (FEV1/FVC). Auch kommt es zu einer vermehrten Mukusekretion im Rahmen der Inflammation, welche den chronischen produktiven Husten verursacht.

Der daraus resultierende mangelnde Abtransport führt zur Akkumulation von Mukus in den Atemwegen und begünstigt wiederholtes Auftreten respiratorischer Infektionen durch die bakterielle Kolonialisierung [15, 20, 21].

Die Veränderungen beschränken sich nicht nur auf die Lunge. Im Verlauf der COPD treten Entzündungsmediatoren aus der Lunge auch in den Blutkreislauf über und führen zu Schäden in anderen Organen, wie z. B. Kachexie und Abnahme der Skelettmuskulatur [14].

Bei COPD-Patienten konnte eine Korrelation zwischen der Schwere der Atemwegsobstruktion und der Abnahme der Muskelkraft der unteren Extremitäten, Bauch- und Brustmuskulatur festgestellt werden [22]. Der daraus resultierende Bewegungsmangel führt zu weiteren komplexen pathologischen Vorgängen in der Skelettmuskulatur.

In zahlreichen Studien wurde dies am M. quadriceps femoris untersucht, da die Muskulatur der Beine sehr häufig vom Verlust der Kraft und Ausdauer betroffen ist [23, 24]. Ein häufig beobachtetes Phänomen ist die veränderte

Zusammensetzung der Muskelfasertypen in den jeweiligen Muskeln. Die Anzahl der Typ-I-Muskelfasern, die langsame Kontraktionen ausführen, nimmt ab. Durch die niedrige Myosin-ATPase-Aktivität ermöglichen sie energiesparende, ausdauernde Halteleistungen [25]. Die Anzahl der schnell kontrahierenden Typ-II-Muskelfasern hingegen steigt. Neben der Zunahme der Typ-II-Fasern fällt auf, dass diese bei COPD-Patienten eine geringere Größe aufweisen als im gesunden Probandenkollektiv [26]. Verstärkt wird diese Änderung der Muskelarchitektur durch Faktoren, wie zunehmendes Alter, Fehlernährung und die Einnahme systemischer Kortikosteroide [27]. Zu weiteren systemischen Merkmalen gehört die negative Beeinflussung von Erkrankungen wie KHK, Osteoporose und Diabetes mellitus.

### *1.5. EXAZERBATION*

Eine Exazerbation der COPD wird von der „Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease“-Kommission (GOLD) definiert als eine akute Verschlechterung der respiratorischen Symptomatik, die einer intensivierten Therapie bedarf. Dabei kann es sich um die Zunahme von Dyspnoe, Auswurf, Husten und Abgeschlagenheit handeln.

Die Auswirkungen auf den gesamten Gesundheitszustand der Patienten sind negativ und führen zu stationären Krankenhausaufenthalten sowie zur Progression der Erkrankung [14].

Die triggernden Faktoren der akut exazerbierten COPD (AECOPD), werden in infektiöse und nicht-infektiöse Ursachen eingeteilt. Zu den infektiösen Ursachen zählen virale oder bakterielle Atemwegsinfekte, wie z. B. Infektionen mit dem Bakterium *Haemophilus influenzae*, welches im Sputum vieler Patienten mit exazerbierter COPD nachgewiesen kann und eine Antibiotikatherapie erfordert [28].

Eine andere häufige Ursache ist die virale Infektion mit humanen Rhinoviren, welche bis zu einer Woche nach Beginn der Exazerbation aus dem Patientensputum isoliert werden können [14].

Luftverschmutzung, niedrige Temperaturen, Komorbiditäten und das Unterbrechen laufender COPD-Therapien gehören zu den nicht-infektiösen Ursachen [29, 30].

In allen Fällen kommt es zur Zunahme inflammatorischer Prozesse in der Lunge, so dass sowohl die Atemwegsobstruktion als auch die Symptomatik zunimmt [14].

## 1.6. DIAGNOSTIK DER COPD

### 1.6.1. STANDARDDIAGNOSTIK

#### 1.6.1.1. LUNGENFUNKTIONSDIAGNOSTIK

In der Diagnostik der COPD hat die Lungenfunktionsdiagnostik einen zentralen Stellenwert.

Die Spirometrie stellt eine Methode der Lungenfunktionsdiagnostik dar, welche neben der Sicherung der Diagnose auch die Zuordnung zu einem Schweregrad und die Therapieplanung ermöglicht. Sie ermöglicht die Messung und Bestimmung der Lungenvolumina und Luftflussgeschwindigkeit am Mund. Da es sich um eine einfache und nicht-invasive Methode handelt, kommt sie in der Klinik sehr häufig zur Anwendung, z. B. auch bei Verlaufskontrollen obstruktiver Ventilationsstörungen. Wichtige Parameter, die ermittelt werden, sind die Vitalkapazität (VC), Einsekundenkapazität ( $FEV_1$ ) und der Tiffeneau-Index ( $FEV_1/FVC$ ). Der Grad der Atemwegsobstruktion wird bei der Spirometrie indirekt anhand der Einschränkung des Atemstroms bei forcierter Expiration ermittelt [31]. Bei der Spirometrie können nicht alle Lungenfunktionsparameter ermittelt werden, z. B. kann keine Aussage zum Gasaustausch getroffen werden. Ungünstig ist auch, dass die Ergebnisse der Spirometrie stark von der Mitarbeit des Patienten abhängen. Eine optimale Instruktion durch den Untersucher ist deswegen essentiell.

Ein komplementäres Verfahren der Lungenfunktionsdiagnostik ist die Bodyplethysmographie. Dabei können Parameter wie Atemwiderstand (R), Residualvolumen (RV) und totale Lungkapazität (TLC) bestimmt werden, was mit der Spirometrie nicht möglich ist. Der Grad der Atemwegsobstruktion wird dabei in Form des Atemwegswiderstandes während der Ruheatmung bestimmt. Die Patientenmitarbeit bei diesem System ist nicht so ausschlaggebend wie bei der Spirometrie, was z. B. bei der Erstellung von Gutachten und pädiatrischen Untersuchungen von Vorteil ist [31].

#### 1.6.1.2. 6-MINUTEN-GEHTEST (6 MWD)

Der 6MWD gilt als Standard-Test zur Ermittlung der physischen Leistungsfähigkeit bei Patienten mit pulmonaler Erkrankung wie COPD. Mithilfe dieses Tests lassen sich Rückschlüsse auf die Patientenbelastbarkeit und das Ansprechen auf Therapien ziehen.

Der Test ist kostengünstig und reproduzierbar, zudem spiegelt er viel eher die Alltagsaktivität der Patienten wieder, als z. B. ein Belastungstest auf einem Fahrradergometer [14, 32].

Die Untersuchung läuft ab, indem der Patient auf einer zuvor abgemessenen Strecke (z. B. in einem Krankenhausflur) sechs Minuten lang auf und abgeht, so dass nach Ablauf der Zeit die zurückgelegte Gehstrecke in Metern angegeben werden kann. Das Tempo wählt er selbst, wird allerdings aufgefordert, schnell zu gehen um möglichst viele Meter zurückzulegen [33].

Bei COPD-Patienten besteht eine starke Korrelation (0,79) zwischen der im 6MWD zurückgelegten Distanz und der Zeit, die die Patienten im Alltag gehend verbringen [34].

Schon 1998 beschäftigen sich Enright und Sherill erstmals mit der Aufstellung von Referenzwerten für die Gehstrecken im 6MWD. In diesem Rahmen wurden 290 gesunde Probanden im Alter von 40 bis 80 Jahren untersucht. Die mediane Gehstrecke der Männer lag bei 576 m, die der Frauen bei 494 m [35]. Neben der Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit ermöglicht der 6MWD das Treffen prognostischer Aussagen bezüglich der Morbidität und Mortalität der Patienten [36]. Spruit et al. fanden heraus, dass eine Gehstrecke von unter 334 m mit einem erhöhten Mortalitätsrisiko unter COPD-Patienten Grad II - IV assoziiert ist. Bei Patienten mit Gehstrecken von unter 357 m kam es zu signifikant mehr Exazerbation-assoziierten Hospitalisationen ( $p = 0,001$ ) [32].

In vielen Studien findet der 6MWD Anwendung. In zahlreichen Fällen kam es nach pneumologischen Rehabilitationsmaßnahmen bei COPD-Patienten zu deutlichen Verbesserungen der Gehstrecke im 6MWD [37-39].

Die „minimal clinically important difference“ (MCID) ist definiert als die kleinste Änderung eines messbaren klinischen Parameters, die sich positiv oder negativ auf den Patienten auswirkt [40] und wird für COPD-Patienten je nach Literaturquelle zwischen 26 m und 54 m angegeben [41] [42].



### 1.6.1.3. CAT

Der COPD-Assessment Test (CAT) ist ein häufig angewandtes Score-System in der Klinik.

Es handelt sich um einen validen und sensitiven Fragebogen, der krankheitsspezifisch bei COPD eingesetzt wird.

Mit acht Fragen stellt der CAT einen kurzen Test dar, den die Patienten selbstständig ausfüllen können. Im Mittelpunkt der Fragen stehen die typischen Symptome von COPD-Patienten, darunter Husten, Auswurf, Druckgefühl im Thorax, Dyspnoe, Einschränkungen der körperlichen Leistungsfähigkeit im Alltag, Schlafqualität und Antrieb.

Der Patient entscheidet, inwiefern die Aussagen auf ihn persönlich zutreffen. Dies erfolgt durch Ankreuzen einer der fünf Kategorien von „0 = nicht betroffen“ bis „5 = sehr stark betroffen“. Die Einzelwerte werden zu einem Gesamtscore summiert, der einen Wert von 0 bis 40 annehmen kann. Je höher der Gesamtscore desto höher die Einschränkungen des Patienten durch die COPD und ihre Symptome [43-45].

Der CAT ist ein verlässliches Testverfahren, das Ärzten und Untersuchern ermöglicht, den Einfluss der Erkrankung auf den Patienten einzuschätzen. Auch die Unterscheidung zwischen den einzelnen Schweregraden ist damit möglich [46]. In einer Studie zeigten Jones et al. zudem, dass eine deutliche Korrelation zwischen dem CAT und dem wesentlich aufwendigeren und komplexen SGRQ besteht [43]. Dennoch ist der CAT kein vollwertiges diagnostisches Mittel. Er ist vor allem eine Ergänzung zur Lungenfunktion und eignet sich für Verlaufskontrollen, z. B. im Zuge von pneumologischen Rehabilitationsmaßnahmen [44]. Die MCID beträgt bei dem CAT eine Änderung des Gesamtscores um zwei Punkte [47].

## 1.6.2. WEITERFÜHRENDE DIAGNOSTIK

### 1.6.2.1. FIVE-TIMES-SIT-TO-STAND-TEST (FTSTST)

Der FTSTST, „Stuhl-Aufsteh-Test“, misst die Muskelkraft und Mobilität der unteren Extremitäten des Probanden und wird besonders in der Geriatrie häufig angewandt.

Zur Durchführung des FTSTST muss der Patient fünfmal hintereinander so schnell wie möglich von einem Stuhl aufstehen und sich wieder setzen, wobei die benötigte Zeit gestoppt wird.

Trotz weniger Hilfsmittel und der simplen Durchführung ist der FTSTST ein wichtiges Instrument, um prognostische Aussagen bezüglich der COPD zu treffen.

Er ermöglicht die Einschätzung des Sturzrisikos und lässt Aussagen über die körperliche Einschränkung und Morbidität von Probanden zu [22, 23, 48].

Buatois et al. fanden im Rahmen ihrer Studie mit 2.735 gesunden Probanden über 65 Jahren heraus, dass eine Dauer von über 15 Sekunden zur Ausführung des FTSTST mit vermehrten und wiederholten Stürzen dieser Personen assoziiert ist [22].

Guralnik et al. stellten heraus, dass Probanden, die über 13,6 Sekunden zur Ausführung benötigten, eine höhere körperliche Einschränkung sowie Morbidität aufwiesen [48].

Puhan et al. beschäftigten sich im Rahmen einer Studie mit einer abgewandelten Form des FTSTST. Statt wie in unserer vorliegenden Studie fünfmal aufzustehen und die benötigte Zeit zu messen, wurde der 1-Minute-Sit-To-Stand-Test (1-min.-STST) genutzt. Die Probanden wurden gebeten, während einer Minute so oft wie möglich von dem Stuhl aufzustehen, wobei die Anzahl der Wiederholungen gezählt wurde.

Die Studie mit 409 COPD-Patienten im GOLD-Stadium II - IV konnte eine starke Korrelation zwischen dem 1-min.-STST und der Mortalität der COPD-Patienten herausstellen. Die Anzahl der Wiederholungen im Test bei Probanden, die 2 Jahre später verstorben waren, war rückblickend niedriger als bei Probanden, die an diesem Follow-up teilnahmen (11,8 vs. 19,5 Wiederholungen).

Auch untersuchten Puhan et al. den Zusammenhang zwischen dem Sit-To-Stand-Test und der Lebensqualität. Sie nutzten dafür den CRQ (Chronic Respiratory Questionnaire), einen Fragebogen, bestehend aus 20 Fragen zur Einschätzung der Lebensqualität, mit den Kategorien Atemnot, Erschöpfung, Stimmungslage und Krankheitsbewältigung und kamen zu dem Schluss, dass eine höhere Anzahl der Wiederholungen im 1-min.-STST signifikant mit einer höheren Lebensqualität assoziiert ist [34].

In der vorliegenden Arbeit wurde der FTSTST neben dem 6MWD durchgeführt, um mehr Informationen zur körperlichen Leistungsfähigkeit der Probanden zu ermitteln. Ozalevli et al. machten in ihrer Arbeit bereits deutlich, dass der FTSTST hinsichtlich der neurophysiologischen Leistungsfähigkeit mit dem 6MWD vergleichbar ist und zudem eine hohe Korrelation zwischen den beiden Testverfahren besteht. Der FTSTST stellt somit einen ähnlich aussagekräftigen Parameter zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit dar [49, 50].

Ein Vorteil des FTSTST gegenüber dem 6MWD ist dabei, dass die Patienten während der Ausführung einem geringeren hämodynamischen Stress ausgesetzt sind. Außerdem nimmt die Durchführung weniger Platz und Zeit in Anspruch [51].

#### *1.6.2.2. SAINT GEORGE RESPIRATORY QUESTIONNAIRE (SGRQ)*

Der SGRQ ist ein validiertes Erhebungsinstrument zur Abschätzung der Beeinträchtigung der krankheitsspezifischen Lebensqualität bei erwachsenen Patienten mit chronisch obstruktiven Erkrankungen der Atemwege [52]. Er wurde in mehr als 70 Sprachen übersetzt und liegt auch in deutscher Sprache vor. Der Fragebogen besteht aus 50 Fragen, die drei Kategorien zugeordnet werden können [53]:

1. „symptom-score“ (Symptome):

Dieser Teil des Fragebogens evaluiert die subjektive Wahrnehmung der Atemwegsbeschwerden des Teilnehmers. Sie bezieht die Frequenz und das Ausmaß der Beschwerden mit ein.

2. „activity-score“ (Aktivität):

Dieser Teil bewertet den physikalischen Zustand des Teilnehmers. Er misst die Einschränkung auf die alltägliche körperliche Aktivität, hervorgerufen durch die Atemwegsbeschwerden.

3. „impact-score“ (Beeinträchtigung):

Dieser Teil bewertet die gesamte Reichweite der Einschränkungen, die der Teilnehmer durch die Atemwegsbeschwerden erfährt.

Der „total-score“ fasst diese drei Komponenten zu einem Zahlenwert zusammen. Hohe Testwerte repräsentieren eine geringe, niedrige Testwerte eine hohe Lebensqualität [46, 54].

Ein wichtiger Vorteil des SGRQ ist die gute Reproduzierbarkeit des Tests. Da er sensitiv für Veränderungen ist, kann er für Verlaufskontrollen genutzt werden und auch in frühen Erkrankungsstadien Anwendung finden [55].

Aus zahlreichen Gründen ist der SGRQ für den klinischen Alltag nicht so gut geeignet wie z. B. der CAT (s. Abschnitt 1.6.,1.3).

Durch die hohe Anzahl an Fragen und die verschiedenen Fragetypen (Multiple-Choice, Multiple-Select) kommt es zu einer hohen Bearbeitungsdauer. Außerdem kommen gehäuft Bearbeitungsfehler aufgrund der Komplexität des Fragebogens vor [46, 55]. Auch die Auswertung ist anspruchsvoll und zeitaufwendig, da die Fragenblöcke unterschiedlich gewichtet und bewertet werden müssen [55].

Trotz allem wird die Komplexität der Erkrankung durch den SGRQ nicht ausreichend wiedergegeben, so dass er nicht als eigenständiges diagnostisches Mittel genutzt werden kann [44]. Die MCID liegt im Gesamtscore bei vier Punkten [52].

#### *1.6.2.3. MODIFIED BRITISH MEDICAL RESEARCH COUNCIL (MMRC)*

Bei dem mMRC handelt es sich um eine Skala, die die Einteilung der Dyspnoe von COPD-Patienten ermöglicht und somit eine Bewertung der Symptomatik darstellt. Dabei kann zwischen Grad 0 bis Grad IV ausgewählt werden [45]. Die Tabelle 3 zeigt die Zuordnung zu den Graden.

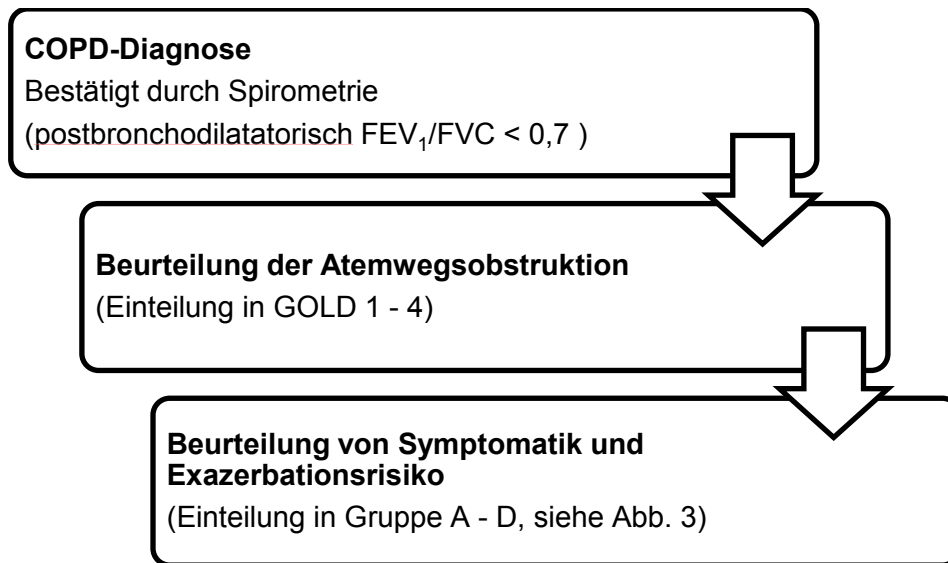
**TABELLE 3: MMRC SKALA [45]:**

|          |  |
|----------|--|
| Grad 0   | Dyspnoe bei schwerer Anstrengung                                       |
| Grad I   | Dyspnoe bei schnellem Gehen/<br>leichtem Anstieg                       |
| Grad II  | Durch Dyspnoe langsames Gehen<br>als Gleichaltrige / häufigere Stopps  |
| Grad III | Dyspnoe bei Gehstrecke von 100 m                                       |
| Grad IV  | Dyspnoe zu stark, um das Haus zu<br>verlassen / beim An- und Ausziehen |

### *1.7. SCHWEREGRADE*

Um eine optimale Einschätzung der Erkrankung zu ermöglichen sowie eine passende Therapie zu planen, hat die „Global Initiative for Obstructive Lung Disease“ (GOLD) eine Klassifikation entwickelt, die im Laufe der Zeit optimiert wurde [45]. Im aktuellen Schema werden klinische Parameter, wie Symptome und Exazerbationen, von der spirometrisch ermittelten Atemwegsobstruktion getrennt [1].

Abbildung 2 zeigt den Algorithmus zur Einschätzung des COPD-Schweregrades eines Patienten:



**ABBILDUNG 2: ABFOLGE DER KRITERIEN ZUR EINSCHÄTZUNG DES COPD-SCHWEREGRADES EINES PATIENTEN (IN ANLEHNUNG AN [45])**

Bei allen COPD-Patienten wird eine Spirometrie durchgeführt, um den Grad einer vorhandenen Atemwegsobstruktion zu messen. Tabelle 4 zeigt die Einteilung der Atemwegsobstruktion in die Gruppen GOLD 1 bis 4. Die FEV<sub>1</sub> (%pred) stellt den Richtwert dar.

**TABELLE 4: EINTEILUNG DER ATEMWEGSOBSTRUKTION IN DIE GOLD-GRUPPEN 1 - 4 ENTSPRECHEND DER FEV<sub>1</sub> [14]:**

| Gruppe | FEV <sub>1</sub> (% pred.) |
|--------|----------------------------|
| GOLD 1 | ≥ 80                       |
| GOLD 2 | 50 - 79                    |
| GOLD 3 | 30 - 49                    |
| GOLD 4 | < 30                       |

Zur Einteilung in die Gruppen A, B, C und D werden die klinischen Parameter „Symptomatik“ und „Exazerbationen in der Vorgeschichte“ herangezogen.

Patienten mit bis zu einer mittelschweren Exazerbation im vergangenen Jahr werden den Stadien A oder B zugeteilt, während mindestens eine stationär behandelte bzw. mindestens zwei, mit Antibiotika / Kortikosteroiden ambulant behandelte Exazerbationen den Stadien C oder D zugeteilt werden.

Die Symptome werden mithilfe der Fragebögen CAT oder mMRC den beiden Kategorien „geringgradig symptomatisch“ (A,C) und „höhergradig symptomatisch“ zugeteilt (B,C) zugeteilt [1].

Daraus ergibt sich folgendes Schema in Abbildung 3:

|  |                        |                      |
|--|------------------------|----------------------|
| <b>Exazerbationen<br/>in der Vergangenheit</b>           |                        |                      |
| ≥ 2 oder<br>≥ 1 mit stationärem<br>Krankenhausaufenthalt | <b>C</b>               | <b>D</b>             |
| 0 oder<br>1 ohne stationären<br>Krankenhausaufenthalt    | <b>A</b>               | <b>B</b>             |
| <b>Symptomatik</b>                                       | CAT < 10<br>mMRC 0 - 1 | CAT > 10<br>mMRC ≥ 2 |

**ABBILDUNG 3: ABCD-SCHEMA (IN ANLEHNUNG AN DAS GOLD-SCHEMA) ZUR RISIKOABSCHÄTZUNG UND EINTEILUNG ANHAND VON SYMPTOMSTÄRKE UND ANZAHL DER EXAZERBATIONEN [1, 14]**

Jeder Patient wird somit einem COPD-Schweregrad zugeteilt, was einen Überblick über Krankheitsverlauf und Therapieansprechen ermöglicht.

### 1.8. KOMORBIDITÄTEN UND EXTRAPULMONALE MANIFESTATIONEN

Früher wurde die COPD als eine isolierte Erkrankung der Lunge angesehen, welche durch das Rauchen verursacht wird. Heute weiß man jedoch, dass die COPD häufig mit Komorbiditäten - Erkrankungen, die überzufällig häufig neben der pulmonalen Manifestation der COPD auftreten - einhergeht [56]. Fast 98 % der COPD-Patienten leiden an einer oder mehreren Komorbiditäten, circa 53 % weisen vier und mehr Komorbiditäten auf [57].

Häufige Komorbiditäten von COPD-Patienten sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

**TABELLE 5: AUSWAHL HÄUFIGER KOMORBIDITÄTEN VON COPD-PATIENTEN [1]:**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| - Kardiovaskuläre Erkrankungen | Koronare Herzkrankheit, Herzinsuffizienz, ventrikuläre Dysfunktion, Arteriosklerose, Myokardinfarkt, plötzlicher Herztod |
| - Maligne Erkrankung der Lunge | Bronchialkarzinom  |
| - Knochenstoffwechselstörung   | Osteoporose  |
| - Psychiatrische Erkrankungen  | Angststörungen, Depressionen   |

Herzerkrankungen sind besonders häufige Komorbiditäten von COPD-Patienten. Ein Zusammenhang zwischen einer Reduktion der Lungenfunktion und der Häufigkeit koronarer Herzkrankheit (KHK) konnte in Studien bereits epidemiologisch nachgewiesen werden [58].



Laut Tockmann et al. haben Patienten mit einer FEV1 < 65 % ein erhöhtes Risiko (OR 4,0) an einer Erkrankung kardiovaskulärer Genese zu versterben [59].

Auch die „Lung Health Study“ kam zum Ergebnis, dass eine Abnahme der FEV1 um 10 % zu einer Zunahme koronarer Ereignisse um 20 % führt [60].

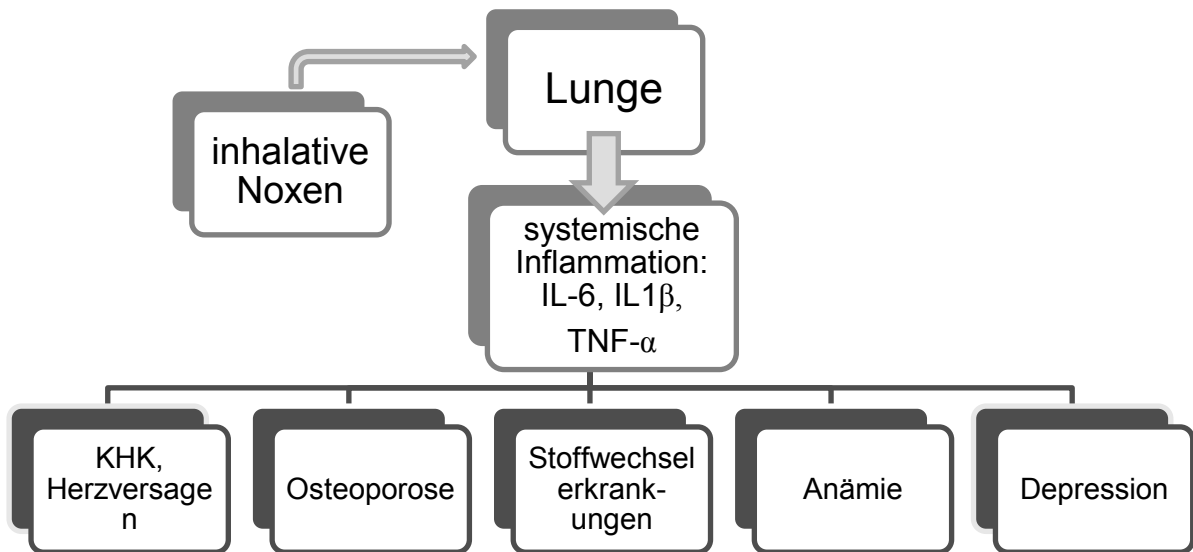
Neben der Herzbeteiligung treten bei vielen Patienten mit der Zeit ein Verlust von Muskelmasse sowie eine Skelettmuskeldysfunktion ein. Circa 50 % der COPD-Patienten mit einem schweren Krankheitsverlauf beklagen einen ungewollten Gewichtsverlust, was auf den Verlust von Muskelmasse zurückgeführt werden kann [61].

Die genauen Ursachen dafür sind noch unklar, allerdings werden systemische Inflammation, erhöhter Grundumsatz sowie Gewebhypoxie als Erklärungsansätze genutzt [62].

Für die Knochenstoffwechselstörung Osteoporose werden die resultierende Immobilität der Patienten, Alter, Gewichtsverlust und die Medikation mit Steroiden verantwortlich gemacht. Auch trägt die systemische Inflammation und inhalativer Nikotinkonsum zur Pathogenese bei [63].

Auch psychische Erkrankungen, wie Angstzustände und Depressionen manifestieren sich gehäuft. Schon in frühen Stadien der COPD-Erkrankung (Stadium I und II) berichten Betroffene von Panik- und Depressionssymptomen [64, 65].

Die Abbildung 4 stellt diesen Zusammenhang dar.



**ABBILDUNG 4: SYSTEMISCHE MANIFESTATIONEN DER COPD (SCHAUBILD MODIFIZIERT NACH [66])**

### 1.9. THERAPIE

Die Auswirkungen und Symptome einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung können sehr stark variieren und manifestieren sich bei jedem Patienten unterschiedlich. Ebenso variabel sind auch die Therapieoptionen, die aktuell zur Verfügung stehen. Grundsätzlich kann die Therapie in zwei Bausteine aufgeteilt werden, die medikamentöse und die nicht-medikamentöse Therapie [1].

In leichten Fällen beschränkt sich das Behandlungskonzept auf präventive Maßnahmen. Mit zunehmendem Schweregrad werden Medikamente, Physiotherapie, körperliches Training sowie operative Maßnahmen eingesetzt [45, 67].

Bei der Auswahl der Therapieoptionen ist es wichtig, ein individuell an den Patienten angepasstes Therapiekonzept zu erstellen. Es muss sowohl die Ausprägung der Erkrankung und ihr Schweregrad berücksichtigt werden als auch das alltägliche Leben des Menschen und seine psychischen und physischen Möglichkeiten. Auf diese Art und Weise ist es erst möglich, Kooperationsbereitschaft und Compliance eines Patienten zu erhöhen und bestmögliche Therapieergebnisse zu erzielen. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass es aktuell unter all den Therapiemöglichkeiten keine Option gibt, die eine Abnahme der Lungenfunktion langfristig aufhalten kann. Die COPD bleibt somit eine unheilbare aber behandelbare Erkrankung. Der Umgang mit akuten Exazerbationen bedarf besonderen Handelns, insbesondere bezüglich des Behandlungsplans [45].

#### *1.9.1. MEDIKAMENTÖSE THERAPIE DER STABILEN COPD*

Die pharmakologische Therapie der COPD dient der Verbesserung des gesundheitlichen Zustandes des Patienten, der Symptomreduktion und vermindert die Frequenz und Schwere von Exazerbationen [68]. Unabhängig der Medikamenteneinnahme sollten alle Patienten Risikofaktoren vermeiden, z. B. das Rauchen aufgeben oder berufsbedingte Noxen vermeiden. Eine Medikation, die die langfristige Abnahme der Lungenfunktion verhindert, gibt es zurzeit nicht [45].

In der medikamentösen COPD-Therapie stehen zahlreiche Medikamentenklassen zur Verfügung. Jedes Therapiekonzept muss vom behandelnden Arzt individuell an den Patienten und seine Symptome, basierend auf den Empfehlungen der Leitlinie, angepasst werden. Faktoren wie Kosten, Wirkung und Nebenwirkung sind dabei ausschlaggebend [45]. In Tabelle 6 werden die wichtigsten Medikamentenklassen aufgeführt:

**TABELLE 6: HÄUFIGE MEDIKAMENTENKLASSEN IN DER COPD-THERAPIE [1]:**

| Medikamentenklasse         | Substanzen   | Wirkung  |
|----------------------------|--|--|
| Beta-2- Agonisten          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Kurzwirksam:</i><br/>z.B. Salbutamol,<br/>Fenoterol (SABA)</li> <li>• <i>Langwirksam:</i><br/>z. B. Salmeterol,<br/>Formoterol (LABA)</li> </ul> | Relaxation der Bronchialmuskulatur und Bronchodilatation durch Bindung an beta-2-Rezeptoren in den glatten Muskelzellen          |
| Anticholinergika           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Kurzwirksam:</i><br/>z. B. Ipratropiumbromid (SAMA)</li> <li>• <i>Langwirksam:</i><br/>z. B. Tiotropiumbromid (LAMA)</li> </ul>                  | Relaxation der Bronchialmuskulatur und Bronchodilatation durch Blockade der Effekte von Acetylcholin an muscarinergen Rezeptoren |
| Methylxanthine             | z. B. Theophyllin  | Inhibiert nicht-selektiv Phosphodiesterase führt zur Erschlaffung der glatten Muskulatur und Aufhebung der Bronchokonstriktion   |
| Inhalative Kortikosteroide | z. B. Budesonid,<br>Fluticason   | Antiinflammatorische Wirkung   |

Häufig werden Kombinationen von Bronchodilatoren in der COPD-Therapie eingesetzt. Eine Kombinationstherapie aus langwirksamen Beta-2-Agonisten (LABA) und langwirksamen Anticholinergika (LAMA) hat eine bessere Auswirkung auf die Lungenfunktion als eine Monotherapie [45]. Ebenso gilt, dass eine Kombination aus ICS/LABA bei Patienten mit fortgeschrittener COPD die Lungenfunktion und Belastbarkeit stärker verbessert als eine Behandlung mit den einzelnen Substanzen [1]. Auch hat es Studien gegeben, die einen höheren Benefit einer Triple-Therapie mit ICS/LABA/LAMA bezüglich der Lungenfunktion und Exazerbationsfrequenz feststellten im Vergleich zur Therapie mit ICS/LABA [1]. Die folgende Tabelle 7 zeigt die aktuellen medikamentösen Therapieempfehlungen.

**TABELLE 7: STUFENSHEMA DER DAUERThERAPIE BEI COPD [1]:**

| <b>Symptome</b>  | <b>Medikamente</b>                                |
|--|---|
| <b>Gruppe A:</b> geringe Symptomatik,<br>z. B. CAT < 10                              | - keine<br><br>- SABA + SAMA<br><br>- LABA / LAMA |
| <b>Gruppe B:</b> starke Symptomatik,<br>z. B. CAT > 10                               | - LABA / LAMA<br><br>- LABA + LAMA                |
| <b>Gruppe C / D:</b> Exazerbationen > 1<br>bzw. Exazerbation mit<br>Hospitalisierung |   |
| ➔ Keine Vorbehandlung  | - LAMA / LAMA + LABA                              |
| ➔ Mit Vorbehandlung  | - LAMA + LABA                                     |
| ➔ Eskalation / Wechsel, z. B. bei<br>persistierenden Exazerbationen                  | - LAMA + LABA + ICS<br><br>- LABA + ICS           |

#### 1.9.2. NICHT-MEDIKAMENTÖSE THERAPIE

Da es sich bei der COPD um eine Erkrankung mit systemischen Manifestationen handelt, die im weiteren Verlauf Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System, die Muskulatur, Knochendichte sowie die Psyche haben, reicht eine ausschließlich pharmakologische Therapie oft nicht aus, um sie in ihrer Komplexität zu behandeln [69]. Weitere Therapiemöglichkeiten werden im Folgenden vorgestellt.

### **Tabakentwöhnung**

Präventive Maßnahmen haben das Ziel, die Progredienz der Erkrankung zu verhindern. Aus diesem Grund steht die Reduktion inhalativer Noxen an oberster Stelle. Da das Zigarettenrauchen die häufigste Ursache von COPD ist [70], gilt es rauchenden Patienten eine Nikotinkarenz nahezu legen [1]. Im Zuge der amerikanischen „Lung Health Study“ wurde die Auswirkung einer Tabakentwöhnung deutlich. Patienten mit milder bis moderater COPD stellten das Zigarettenrauchen ein. Über vier Jahre stellte sich heraus, dass die Abnahme der FEV<sub>1</sub> halb so groß war, wie in der Kontrollgruppe fortwährend rauchender Patienten [71]. Wird das Rauchen von Patienten fortgesetzt, erhöht dies die Morbidität und beschleunigt die Zunahme der Atemwegsobstruktion [72]. Das dauerhafte Beenden des inhalativen Nikotinkonsums gilt als effektivste Methode zur Verbesserung der Prognose [73].

### **Schutzimpfungen**

Die Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin empfiehlt COPD Patienten > 65 Jahren jährlich (im Herbst) eine aktive Immunisierung gegen den Influenzavirus und Pneumokokken, welche zu den Präventionsmaßnahmen zählt. Es wird vermutet, dass die Influenzaimpfung das Risiko für das Auftreten von Exazerbationen senkt, jedoch ist die Datenlage dazu noch gering [74].

## **Langzeitsauerstofftherapie („Long-Term Oxygen Therapy“, LTOT)**

Eine LTOT wird zur Therapie der chronischen hypoxämischen respiratorischen Insuffizienz bei COPD eingesetzt und ist bei einem  $\text{paO}_2$  in Ruhe  $\leq 55$  mmHg indiziert.

Sie ermöglicht die Entlastung der Atemmuskulatur des Patienten durch den folglich verminderten Ventilationsbedarf. Eine Anwendung der LTOT von über 16 Stunden täglich führt zu einer Verbesserung der Prognose [1].

## **Operative Therapie / Lungenvolumenreduktion**

Die Lungenvolumenreduktion (LVR) kann durch unterschiedliche Verfahren erreicht werden. Die chirurgische Lungenvolumenreduktion beim Lungenemphysem hat das Ziel, Lungenanteile zu resezieren, die durch das Emphysem stark verändert und überbläht sind. Die endoskopische LVR weist eine niedrigere perioperative Mortalität auf als die chirurgische LVR, da minimalinvasive Verfahren angewandt werden. Es werden dabei Ventile, Coils sowie LVR durch Dampf oder Hydrogelschaum eingesetzt, um die durch das Lungenemphysem hervorgerufene Hyperinflation zu verringern.

Die Lungentransplantation ist die „Ultima Ratio“. Das Lungenemphysem bei COPD ist aktuell die weltweit häufigste Ursache für Lungentransplantationen. Dieser Eingriff wird erst in Erwägung gezogen, wenn alle anderen Therapieoptionen ausgeschöpft sind [1]. Ein hoher Grad an Motivation, vorbereitende Rehabilitation und Trainingstherapie sowie psychosoziale Stabilität sind für Transplantationskandidaten verpflichtend [1]. Aufgrund mangelnder Spenderlungen erhalten nur wenige Patienten eine Lungentransplantation [73].

## **Pneumologische Rehabilitation (PR)**

Die PR stellt eine Kernkomponente der COPD-Therapie dar. Sie ist definiert als eine umfangreiche, individualisierte, patientenbezogene und komplexe Intervention, die laut der American Thoracic Society / European Respiratory Society das Ziel hat, „den physischen und psychischen Zustand der Patienten zu verbessern, Krankheitssymptome zu reduzieren, Lebensqualität zu erhöhen, Hilfsbedürftigkeit zu verhindern und die Arbeitsfähigkeit zu erhalten“ [75]. Das breite Spektrum möglicher Maßnahmen umfasst Trainingstherapien, Atemphysiotherapie, Ernährungsberatung, Ergotherapie, Psychotherapie und weitere unterstützende Maßnahmen, die kombiniert werden können [1].

Zu den positiven Effekten pneumologischer Rehabilitation gehören [75, 76]:

- Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit
- Reduktion der Dyspnoe
- Verbesserung der Lebensqualität
- Reduktion der Dauer von Hospitalisationen (aufgrund von Exazerbationen)
- Reduktion der Anzahl von Hospitalisationen
- Reduktion von krankheitsspezifischen Ängsten und Depressionen

Die PR ist indiziert, wenn trotz leitliniengerechter Therapie psychische und physische Auswirkung der COPD persistieren und eine Behinderung des Patientenalltags darstellen [1].

Die PR wird von der GOLD als eine der effektivsten und günstigsten Therapien angesehen, um Symptome von COPD-Patienten, wie Dyspnoe sowie Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit zu reduzieren.

Das Hauptziel der PR ist, den Patienten ein dauerhaftes, gesundheitsförderndes Verhalten nahezubringen, welches sie auch über die Dauer der PR hinaus anwenden, um den Krankheitsverlauf selbst positiv zu beeinflussen [14].

Die Effekte der PR, die den höchsten Evidenzgrad A haben, sind:



- die Zunahme der Lebensqualität,
- die Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit,
- die Zunahme von Kraft und Ausdauer der Bein- und Armmuskulatur,
- die Abnahme der Dyspnoe.

Die Evidenz der PR für Patienten mit moderater bis schwerer COPD ist am besten nachgewiesen, es profitieren allerdings alle Schweregrade von dieser Therapieform. Puhan et al. stellten fest, dass PR während bzw. kurz nach einer COPD-bedingten Hospitalisation einen großen Benefit hat [77].

Da eine PR individuell an den Patienten, seine Symptome und Bedürfnisse angepasst werden muss, ist eine ausführliche Diagnostik sowie die Kenntnis über Komorbiditäten ausschlaggebend. Eine medizinische Betreuung ist während der PR unverzichtbar. Testverfahren wie 6MWD, STST, Maximalkraftmessungen und Fragebögen zur Ermittlung der Lebensqualität wie CAT, SGRQ sind zur Planung einer PR notwendig und ermöglichen die Einschätzung des Ausgangszustandes des Patienten [14].

### **Trainingstherapie**

Einen wichtigen Punkt der PR stellt die Trainingstherapie dar. Hauptbestandteile sind Kraft-, Ausdauer- und Koordinationstraining.

Troosters et al. untersuchten die kurz- und langfristigen Effekte eines ambulanten Rehabilitationsprogramms auf COPD-Patienten und randomisierten 100 Patienten auf eine Trainings- und Kontrollgruppe. Sechs Monate lang trainierten die Patienten dreimal wöchentlich über 1,5 Stunden. Die Trainingsgruppe absolvierte eine Kombination aus Ausdauerübungen (Radfahren, Walken) und Kraftübungen, während die Kontrollgruppe an keiner Intervention teilnahm.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe kam es in der Trainingsgruppe zu signifikanten Verbesserungen der Gehstrecke im 6MWD, zum Anstieg der peripheren Muskelkraft, gemessen am M. quadriceps und zu einem Anstieg der Lebensqualität. Auch 18 Monate nach Trainingsbeginn bestanden viele der Effekte weiter [78].

Viele Studien zeigen, dass die Effekte eines alleinigen Ausdauertrainings einer Kombination aus Ausdauer- und Krafttraining unterlegen sind.

So führt z. B. eine kombinierte Trainingstherapie zu einem signifikant höheren Anstieg der Beinkraft und Lebensqualität von COPD-Patienten [79].

Reis et al. führten mit 41 COPD-Patienten der GOLD-Stadien 3 bis 4 über zwei Jahre ebenfalls eine PR durch. Das Training fand dreimal wöchentlich statt und bestand aus einer Aerobic-Einheit und kräftigenden Übungen der oberen Extremitäten und der Atemmuskulatur. Alle sechs Monate erfolgte eine Untersuchung der Parameter. Schon nach sechs Monaten hatte sich sowohl die Gehstrecke im 6MWD als auch die Lebensqualität erhöht. Zusätzlich hatten sich kardiovaskuläre Parameter wie LDL, HDL und die Triglyceride verbessert, was auch auf eine positive Beeinflussung kardiovaskulärer Komorbiditäten schließen lässt. In der Abschlussmessung nach zwei Jahren war die Gehstrecke im 6MWD von durchschnittlich 321 m auf 516 m angestiegen [80].

#### *Ausdauertraining:*

Am effektivsten ist das Ausdauertraining, wenn es drei- bis fünfmal wöchentlich, in Form von 20- bis 60-minütigen Einheiten betrieben wird. In Frage kommende Trainingsarten sind dabei Fahrradtraining sowie Gehtraining auf dem Boden oder Laufband.

Die so genannte „Dauermethode“ ist am weitesten verbreitet, bei der kontinuierlich mit gleichbleibender Intensität trainiert wird.

Bei dem „Intervalltraining“ hingegen werden mehrere kürzere Einheiten mit höherer Intensität und Pausen dazwischen durchgeführt. Letzteres ist besonders für Patienten mit schwererem COPD-Befund von Vorteil sowie für Patienten mit mehreren Komorbiditäten, da die dynamische Lungenüberblähung beim Intervalltraining geringer gehalten wird [1].

### *Krafttraining:*

Bei Krafttraining handelt es sich um eine Modalität, bei der lokale Muskelgruppen gezielt durch wiederholtes Heben und Halten von Gewichten trainiert werden. Es führt zur Erhöhung der Krafftähigkeit und stellt die effektivste Methode dar, um Muskelzuwachs zu erreichen.

In der Regel seltener zu Dyspnoe als Ausdauertraining, was besonders für COPD-Patienten wichtig ist [75, 79].

Besonders für diese Patientengruppe ist Krafttraining der unteren Extremitäten sinnvoll, da die Ausprägung der COPD-bedingten Muskelatrophie an den Beinen am stärksten ist.

In zahlreichen Studien wurden die Auswirkungen von Krafttraining auf die Muskelkraft im M. quadriceps femoris untersucht, da die Kraftreduktion in diesem Muskel mit reduzierter körperlicher Leistungsfähigkeit, niedrigerer Lebensqualität und erhöhter Mortalität assoziiert ist [81, 82].

Troosters et al. randomisierten 40 hospitalisierte Patienten mit schwerer COPD-Exazerbation in eine Gruppe mit herkömmlicher Therapie und eine zweite, die zusätzlich Krafttraining während des Krankenhausaufenthaltes erhielt.

Es stellte sich heraus, dass in der Krafttrainingsgruppe die Muskelkraft im M. quadriceps femoris sowie die Gehstrecke im 6MWD angestiegen war [83].

Auch Boeselt et al. fanden heraus, dass ein regelmäßiges, zweimal wöchentliches, hoch-intensives Krafttraining, welches individuell auf die Leistungsfähigkeit des Patienten ausgelegt war, nach 6 Monaten zu deutlichen Verbesserungen im 6MWD und zu einem sonographisch ermittelten Oberschenkelmuskelzuwachs führte [84].

Es ist festzuhalten, dass im Rahmen einer PR für COPD-Patienten die Kombination aus Ausdauer- und Krafttraining die besten Ergebnisse im Hinblick auf Leistungskapazität und Muskelkraft hat als die jeweilige Trainingsmodalität alleine [79]. Auch hinsichtlich der Lebensqualität profitieren die COPD-Patienten am meisten von einer Kombination [85].

Eine weitere mögliche Trainingsform stellt das Vibrationstraining dar und wird im Kapitel 1.10. besprochen.

## *Dauer und Frequenz des Trainings*

Positive Effekte werden bei Trainingsprogrammen beobachtet, die eine Dauer zwischen 4 und 10 Wochen umfassen. Stationär durchgeführte PR-Aufenthalte dauern in Deutschland in der Regel ca. drei Wochen. Die Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) empfiehlt Trainingsprogramme mit einer Dauer zwischen 4 bis 10 Wochen mit 3 bis 5 Trainingseinheiten wöchentlich [1]. Diese empfohlene Dauer lehnt sich auch an die Tatsache an, dass ein mindestens 4 Wochen andauerndes regelmäßiges körperliches Training eine klinische und statistisch signifikante Verbesserung der Lebensqualität herbeiführt [86]. Je länger das Reha-Programm anhält desto effektiver und langanhaltender die Ergebnisse [45, 75]. Studien haben gezeigt, dass die positiven Effekte der PR bei fehlender Beibehaltung innerhalb von 6 bis 12 Monaten wegfallen [79]. Das Training sollte allerdings unter Supervision erfolgen, z. B. um eine angemessene Trainingsintensivität nahe der anaeroben Schwelle zu gewährleisten [1].

## *1.10. WIRKUNG UND EINSATZ VON VIBRATIONSMUSKELTRAINING IN DER THERAPIE*

### *1.10.1. DEFINITION DER VIBRATION*

Eine Vibration ist ein mechanischer Stimulus, welcher durch ein oszillatorisches Bewegungsmuster charakterisiert ist [87]. Eine ihrer Eigenschaften ist, dass sie an Kontaktstellen von anderen Körpern auf den menschlichen Körper übertragen werden kann [88]. Die Intensität der Vibration wird von den biomechanischen Parametern Amplitude, Frequenz und Beschleunigung bestimmt [87].

### *1.10.2. GANZKÖRPERVIBRATIONSTRAINING (WHOLE BODY VIBRATION TRAINING)*

Die aktuelle Literatur beschreibt verschiedene Systeme des Ganzkörpervibrationstrainings („Whole Body Vibration Training“, WBVT). Der Unterschied liegt dabei im mechanischen Funktionsprinzip.

Vertikale Vibrationssysteme, wie z. B. die Fitybe®-Platte, verursachen die Muskelspindelreizung durch vertikale Auf- und Abbewegung [89]. Bei dem in der vorliegenden Studie genutzten System handelt es sich hingegen um die seitenalternierende Galileo®-Vibrationsplatte (Novotec Medical GmbH, Pforzheim, Germany). Durch die seitenalternierende Bewegungsform dieses Vibrationssystems werden gegenläufige Wippbewegungen entlang einer anterior-posterior verlaufenden horizontalen Achse erzeugt [90]. Während der Proband eine definierte Position auf der Platte einnimmt, werden die Vibrationen über die unteren Extremitäten auf den Körper übertragen, so dass rechter und linker Fuß des Probanden abwechselnd nach kranial beschleunigt werden und das Becken abwechselnd abgekippt wird. Es kommt zu reflexgesteuerten, rhythmischen Muskelkontraktionen der Flexoren und Extensoren der unteren Extremitäten und somit zur Aktivierung der Muskelgruppen der unteren Extremitäten und des Rückens, ähnlich dem menschlichen Gang, allerdings mit einer höheren Geschwindigkeit [91, 92]. Die folgende Abbildung 5 stellt die aufrechte Standposition auf der seitenalternierenden Galileo®-Vibrationsplatte dar, welche auch in der vorliegenden Studie von den Probanden während des Trainings eingenommen wurde.



**ABBILDUNG 5: STANDPOSITION AUF EINER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE, GENEHMIGT VON GALILEO®, NOVOTEC MEDICAL GMBH [90]**

Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen der Vibrationsplatte an und kann an der Vibrationsplatte eingestellt werden. Bei einer Frequenz von z. B. 22 Hertz erfolgen pro Sekunde 22 Schwingungen, d. h. 22 Kontraktionszyklen der Flexions- und Extensionsmuskulatur der unteren Extremitäten. So entsprechen drei Minuten Training auf der Vibrationsplatte bei einer Frequenz von 22 Hz einer Gehstrecke von ungefähr 4.000 Schritten. Bei einer 9-minütigen Trainingseinheit sind es ca. 12.000 Schritte [90].

Die Amplitude der Vibrationsbewegung und somit die Trainingsintensität ist bei der Galileo®-Platte stufenlos verstellbar, indem die Fußposition variiert wird. Je weiter der Stand des Trainierenden desto höher die Amplitude der Vibration und desto höher die Trainingsintensität [93].

Die Abbildung 6 zeigt eine Galileo®-Platte, die der Verwendeten ähnlich ist. Die Ziffern 1 bis 3 markieren die möglichen Standpositionen zur Regulation der Amplitude.



**ABBILDUNG 6: TRAININGSINTENSITÄTEN 1 - 3 AUF OBERFLÄCHE EINER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE, DER PROBAND HAT MITTLERE TRAININGSINTENSITÄT (2) GEWÄHLT, GENEHMIGT VON SUSANNE SCHÖLLENBERGER, SCHRITT FÜR SCHRITT THERAPIE [94]**

### 1.10.3. WIRKUNG DES WBVT

In zahlreichen Studien konnte nachgewiesen werden, dass WBVT zu einem Kraftzuwachs bei den Patienten führt. Der russische Forscher Nazarov wandte als einer der Ersten das Vibrationstraining im Leistungssport an. Dabei konnte bei sowjetischen Leistungsturnern ein Anstieg der Maximalkraft der Schultermuskulatur um 50 bis 60 % nach 12 Trainingseinheiten an vibrierenden Trainingsgeräten, wie z. B. Ringen, nachgewiesen werden, während der Anstieg in der Kontrollgruppe nach Krafttraining an normalen Geräten 20 % betrug [95]. Roelants et al. belegten nach einem sechsmonatigen WBVT eine signifikante Kraftzunahme bei untrainierten Frauen. Die Probandinnen führten dreimal pro Woche statische und dynamische Übungen, darunter Kniebeugen auf der Vibrationsplatte „PowerPlate“ durch. Dies führte neben einem signifikanten, isometrischen Kraftzuwachs der Knieextensoren ( $24,4 \pm 5,1$  %) auch zu einer Zunahme der fettfreien Masse [96].

Figueroa et al. beobachteten die Auswirkungen eines 6-wöchigen WBVT auf die Muskelkraft junger adipöser Frauen.

Die Probandinnen führten dreimal wöchentlich statische und dynamische Kniebeugen auf der „PowerPlate“ durch, was ebenfalls zu einer signifikanten Zunahme der Muskelkraft der Knieextensoren in den Abschlussmessungen führte ( $8,2 \pm 2,3$  kg,  $p < 0,05$ ) [97].

In zahlreichen Studien konnten neben einer erhöhten Muskelkraft [96] weitere Effekte des WBVT identifiziert werden, wie z. B. eine positive Auswirkung auf das Gleichgewicht [98, 99] und die posturale Kontrolle, einhergehend mit einem reduzierten Sturzrisiko [100]. Neben einer erhöhten Lebensqualität konnte auch ein analgetischer Effekt bei postmenopausalen Patientinnen nachgewiesen werden [101].

Tankisheva et al. führten mit Schlaganfallpatienten mit paretischem Bein ein WBVT durch. Sie trainierten sechs Wochen lang, dreimal wöchentlich und führten auf der Vibrationsplatte hohe und tiefe Kniebeugen durch, sowie Kniebeugen auf einem Bein.

Nach Abschluss des Trainings wurde im paretischen Bein ein signifikanter Zuwachs der isometrischen Knieextension ( $+ 18,7$  %,  $p = 0,046$ ) sowie isokinetischen Knieflexion ( $+ 13,9$  %,  $p < 0,04$  %) gemessen.

Weiterhin wiesen die Probanden nach dem WBVT eine verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit auf. Nebenwirkungen des Trainings waren im Studienverlauf nicht aufgetreten [102].

Auch bei Patienten mit cystischer Fibrose konnten mit WBVT positive Ergebnisse auf neuromuskuläre Koordination und Muskelkraft erzielt werden, nachdem die Probanden sechs Monate lang zu Hause mit einer Galileo-Vibrationsplatte trainierten. Bei unterschiedlichen Frequenzen (12 Hz / 26 Hz) wurden mehrmals wöchentlich Übungen wie Kniebeugen, Oberkörperrotationen, Knievor- und -rückbeugen, zum Teil mit Gewichten, durchgeführt [103].

Zum Verständnis der therapeutischen Wirkung des WBVT werden zahlreiche potentielle Mechanismen diskutiert, welche die positiven Effekte des WBVT erklären.

Zu den akuten Effekten des WBVT gehört eine erhöhte Durchblutung der unteren Extremitäten [88]. Nazarov führte die erhöhte Leistungsfähigkeit seiner Probanden nach dem Vibrationstraining auf die erhöhte Sauerstoffversorgung der Muskulatur zurück [95]. Kersch-Schindel et al. bestätigten dies, nachdem nach einer Vibrationseinheit (26 Hz, 3 mm Amplitude) der mit dem Doppler-Ultraschall gemessene Blutfluss in der A. poplitea von 6,5 auf 13 cm/s anstieg [104].

Die chronischen Effekte des WBVT wirken sich auf diverse physiologische Systeme des Körpers aus. Den zentralen Mechanismus neurophysiologischen Ursprungs beschreibt der so genannte tonische Vibrationsreflex („tonic vibration reflex“, TVR) [88].

Die mechanische Vibration durch das Vibrationssystem induziert eine gesteigerte Rekrutierung der motorischen Einheiten in der Skelettmuskulatur, vor allem in den unteren Extremitäten. Die Muskelspindeln und Golgi-Zellen werden stärker stimuliert, was zu einer erhöhten Kontraktionsfähigkeit der Muskulatur führt [88, 92, 105].

Aufgrund der zyklischen Aktivierung von Agonisten und Antagonisten während jeder Vibration wird dem WBVT auch ein positiver Effekt auf Gleichgewicht und posturale Kontrolle zugeschrieben [106].

Auch wird eine durch das Vibrationstraining ausgelöste Muskelhypertrophie als Ursache erwogen [97, 107]. Einem Placebo-Effekt können die Verbesserungen der Muskelkraft sicher nicht zugesprochen werden [107].



#### 1.10.4. WBVT FÜR COPD-PATIENTEN

Die Datenlage zu den Effekten des Ganzkörpertrainings auf COPD-Patienten ist noch gering. Dennoch wurde es schon in diversen klinischen Studien untersucht. In einem ambulanten Setting verglichen Da Silva Cardoso et al. im Rahmen einer 12-wöchigen Pilotstudie ein WBVT mit einer PR. Die Auswirkungen auf die funktionelle Leistungsfähigkeit und die Lebensqualität der COPD-Patienten standen dabei im Fokus und wurden mit den Parametern 6MWD und SGRQ bestimmt. Das WBVT wurde dreimal wöchentlich 10 bis 20 Minuten lang mit der vertikalen Vibrationsplatte „Power Plate“ ausgeführt, während die PR sich aus ebenfalls drei wöchentlichen Einheiten zusammensetzte, die eine Kombination aus Laufband- und Krafttraining der oberen und unteren Extremitäten darstellte. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass beide Formen des Trainings die Lebensqualität der Probanden positiv beeinflussten.

Hinsichtlich der funktionellen Leistungsfähigkeit gab es nur in der WBVT-Gruppe einen Anstieg der zurückgelegten Distanz im 6MWD ( $p = 0,002$ ) [108].

In der Studie von Gloeckl et al. wurden 82 Patienten mit einer COPD mit dem spirometrischen Stadium GOLD 3 - 4 untersucht. Im Rahmen einer dreiwöchigen stationären Rehabilitation, die für alle Probanden fünfmal wöchentliches Kraft- und Ausdauertraining umfasste, führte die Interventionsgruppe zusätzlich Kniebeugen auf dem Galileo® Ganzkörpervibrationsgerät durch, während die Kontrollgruppe die gleiche Anzahl an Kniebeugen auf dem Boden absolvierte. In der WBVT-Gruppe wurde nach drei Trainingswochen eine Zunahme der 6-MWD von 27 m im Vergleich zur Kontrollgruppe erzielt ( $p = 0,046$ ). Auch im Sit-to-Stand-Test schnitt die Galileo® Gruppe besser ab und verbesserte sich um 1,9 Sekunden im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $p = 0,067$ ) [39].

Greulich et al. untersuchten erstmals die Auswirkung eines WBVT auf COPD-Patienten, die aufgrund einer COPD-Exazerbation stationär aufgenommen waren. Die Interventionsgruppe erhielt neben einer Physiotherapie ein 3 x 2-minütiges WBVT auf der Galileo®-Vibrationsplatte, während die Kontrollgruppe nur an der Physiotherapie teilnahm.

Die WBVT-Gruppe hatte sich im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant im 6MWD (von  $167,9 \pm 117,46$  auf  $263,45 \pm 124,13$ ,  $p < 0.001$ ) und im Chair-Rising Test verbessert (von  $19,19 \pm 7,43$  auf  $17,02 \pm 7,04$ ,  $p = 0.02$ ). Gleiches konnte für die Lebensqualität (CAT) beobachtet werden. Nur in der WBVT-Gruppe wurde eine signifikante Verbesserung erzielt ( $p = 0,02$ ). Zudem konnten keine Nebenwirkungen des Vibrationstrainings beobachtet werden [38].

Sá-Caputo et al. beschäftigten sich im Rahmen einer Literaturübersicht mit der Frage nach den Vorteilen eines WBVT bei COPD-Patienten. Neben seitenalternierenden Vibrationsplatten, wie dem Galileo®, waren auch Studien vertreten, die vertikale Systeme wie die PowerPlate nutzten.

Die Auswertung der Studienergebnisse zeigte, dass es sich bei dem WBVT insgesamt um eine anwendbare und sichere Methode handelt, deren Einbindung in die pneumologische Rehabilitation bedacht werden sollte. WBVT stellt eine Trainingsmodalität dar, die zu Verbesserungen der funktionalen Leistung der unteren Extremitäten und der Lebensqualität führt. Außerdem fiel auf, dass in den Trainingsintervallen keine Exazerbationen auftraten. Doch auch in dieser Arbeit wird darauf hingewiesen, dass die genauen Vorgänge während des WBVT weiterer Forschung bedürfen [109].

## 2. FRAGESTELLUNG

Das WBVT ist eine Trainingsmodalität, die zunehmend erfolgreich bei der Therapie und Rehabilitation unterschiedlicher Krankheitsbilder angewandt wird. Bisher konnten vor allem in zahlreichen Studien signifikante Auswirkungen auf die Muskelkraft und das Gleichgewicht festgestellt werden. Auch COPD-Erkrankte profitieren von körperlichem Training, was sich in den zahlreichen pneumologischen Rehabilitationsprogrammen für diese Patientengruppe widerspiegelt. Ziel der vorliegenden Studie ist, den Nutzen des Ganzkörpervibrationstrainings an stabilen COPD-Patienten in einem ambulanten Setting zu untersuchen.

Es soll geklärt werden, ob ein zweimal wöchentlich stattfindendes kurzes Ganzkörpervibrationstraining auf der seitenalternierenden Galileo®-Platte positive Auswirkungen auf Ausdauer, Muskelkraft, Koordination und Gleichgewicht und die Lebensqualität der COPD-Patienten hat. Die folgende Aufzählung zeigt, die in der Studie untersuchten Parameter.

- Körperliche Leistungsfähigkeit: 6-Minuten-Gehtest (6MWD)  
Five-Times-Sit-To-Stand-Test (FTSTST)  
Maximalkraft der unteren Extremitäten
- Gleichgewichtsparameter: Einbeinstand (OLS)  
Berg-Balance Scale (BBS)
- Sonogr. Muskelplanometrie: M. vastus intermedius  
M. rectus femoris
- Lebensqualität: Saint George´s Respiratory Questionnaire (SGRQ)  
COPD-Assessment Test (CAT)

### 3. METHODIK

#### 3.1. PROBANDEN

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte durch den Prüfarzt, Chefarzt der Abteilung für Innere Medizin des St. Remigius Krankenhauses Opladen. Zuvor wurden niedergelassene Pneumologen in Leverkusen und Opladen angesprochen, lokale Inserate geschaltet und Aushänge für Arztpraxen und die Klinik angefertigt.

Bei allen Interessenten, die sich vor allem telefonisch meldeten, wurden die zuvor definierten Ein- und Ausschlusskriterien geprüft, die in der folgenden Aufzählung aufgeführt sind. Das Haupteinschlusskriterium war eine diagnostizierte COPD, die durch eine Spirometrie bei der Voruntersuchung gesichert wurde.

Die Aufnahme in die Studie erfolgte nach Überprüfung der Probanden bezüglich der folgenden Ein- und Ausschlusskriterien, einer ärztlichen Aufklärung sowie einer schriftlichen Einverständniserklärung (Exemplar der Einverständniserklärung im Anhang).

Einschlusskriterien:

- dokumentierte Zustimmung
- Patienten des Stadiums I - III (A - C nach GOLD)
- Alter  $\geq$  65 Jahre
- keine Teilnahme an regelmäßigen sportlichen Aktivitäten ( $\geq$  1 x/Woche) in den drei Monaten vor Einschluss in die Studie

Ausschlusskriterien:

- entzogene Zustimmung
- Stadium IV bzw. D
- Einschränkungen des Bewegungsapparates, die Training unmöglich machen
- akute Erkrankungen, wie Thrombose, Arthrose, Hernien, Diskopathien, Infekte, Frakturen
- andere Atemwegs- oder Lungenkrankheiten außer einer COPD
- Hypertonus ( $>$  220/120 mmHg)
- Hinweis auf akutes pathologisches kardiales Geschehen (Herzinfarkt)

- Begleiterkrankungen, z. B. Herzinsuffizienz (NYHA III und IV)
- kognitive Einschränkungen
- schwere psychische oder neurologische Erkrankungen, die das Training beeinflussen
- künstliches Gelenk in der unteren Extremität, z. B. Knie-TEP

### 3.2. STUDIENDESIGN

Bei der klinischen Studie handelte es sich um eine prospektive, randomisierte kontrollierte Studie, die in Kooperation mit der Philipps-Universität Marburg am St. Remigius Krankenhaus in Opladen durchgeführt wurde.

Sie entsprach einem Parallelstudiendesign. 15 Teilnehmer mit COPD Grad I - III wurden in die Trainingsgruppe (WBVTG) eingeschlossen, die zweimal pro Woche ein 3 x 2-minütiges Galileo®-Vibrationstraining erhielten. Begonnen wurde mit einer Trainingsintensität von 8 bis 10 Hz.

14 Teilnehmer mit denselben Ein- und Ausschlusskriterien bildeten die Kontrollgruppe (CTG), die einmal pro Woche das Entspannungstraining mit leichten Gymnastikübungen durchführten (genauer Trainingsablauf s. Kapitel 3.4.2).

Die Randomisierung erfolgte durch eine Computer-generierte Randomisierungsliste.

Die Dauer der Trainingstherapie betrug drei Monate an zwei Tagen pro Woche. Die Daten der Teilnehmer, die regelmäßig an dem Training auf der Galileo®-Vibrationsplatte teilnahmen, wurden mit Daten der Kontrollgruppe verglichen, die das Entspannungstraining erhielt.

Die unten aufgeführten Untersuchungen wurden bei allen Teilnehmern vor und nach dem dreimonatigem Studienintervall durchgeführt. Der Studienbeginn war im September 2015 und endete im Januar 2016.

Das Studienprotokoll wurde zuvor von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg genehmigt (ID 171/14).

Im Deutschen Register Klinischer Studien ist die Studie unter der ID DRKS 9706 registriert ([www.germanctr.de](http://www.germanctr.de)).

### *3.3. UNTERSUCHUNGSABLAUF*

#### *3.3.1. ANTHROPOMETRIE*

Im Rahmen der Einschlussmessungen, die mit jedem Teilnehmer einzeln durchgeführt wurden, wurden die anthropometrische Daten Alter, Körpergewicht, Körpergröße und Body-Mass-Index ermittelt.

Handelte es sich bei den Teilnehmern um Raucher, so wurde der Nikotinkonsum erfragt und in der Einheit „Packyears“ (Anzahl der Zigarettenschachteln, die pro Tag geraucht werden x Anzahl der Jahre, die geraucht wurden) angegeben.

#### *3.3.2. LUNGENFUNKTIONSUNTERSUCHUNG*

Vor Durchführung der Lungenfunktionsuntersuchung wurde eine Blutgasanalyse (BGA) mit kapillärem Blut aus dem Ohrläppchen durchgeführt.

Zur Erhebung der Lungenfunktionsparameter wurde bei jedem Teilnehmer eine Spirometrie und Bodyplethysmographie durchgeführt (PowerCube, Fa. Ganshorn™, Germany). Dies erfolgte durch eine Mitarbeiterin der Lungenfunktion des St. Remigius Krankenhauses Opladen nach den Kriterien der American Thoracic Society und der European Respiratory Society [110, 111].

Die Teilnehmer atmeten über das Mundstück in das Mess-System, während die Nase mit einer Klemme verschlossen war. Die Messung erfolgte sitzend. Die Atemmittellage wurde registriert, indem die Teilnehmer mehrmals normal ein- und ausatmeten. In der Spirometrie wurde das forcierte expiratorische Volumen (FEV1) und die inspiratorische Vitalkapazität (IVC) gemessen, der Quotient FEV1/IVC (Tiffenau-Wert) wurde daraus berechnet. Mit der Bodyplethysmographie wurden funktionelle Residualkapazität (FRV), Residualvolumen (RV) und Totalkapazität (TLC) ermittelt, der Quotient RV/TLC wurde errechnet.

Zusätzlich wurde die CO-Diffusionskapazität nach der Single-breath Methode durchgeführt, bei der der Transferfaktor für Kohlenmonoxid (TLCO) und das Alveolarvolumen ermittelt wurden.

Der TLCO der Lunge entspricht der CO-Gasmenge, die pro Zeiteinheit und Partialdruckdifferenz zwischen Alveolarluft und pulmonalem Kapillarblut durch die alveolokapilläre Membran übertritt [2, 110, 112].

### 3.3.3. 6-MINUTEN-GEHTEST (6MWD)

Der 6MWD wurde im Anschluss an die Lungenfunktionsuntersuchung nach den aktuellen Richtlinien der American Thoracic Society durchgeführt [79, 113]. Vor Beginn des Gehtests wurde den Teilnehmern die markierte Strecke gezeigt und der Ablauf erklärt. Außerdem wurde anhand der BORG-Skala der Grad der Dyspnoe und der allgemeinen Erschöpfung im Ruhezustand erfragt.

Innerhalb der 6 Minuten sollte jeder Teilnehmer auf dem zuvor genau abgemessenen Flurabschnitt von 30 Metern hin und her gehen. Die Vorgabe lautete ein zügiges Tempo zu wählen und dabei so selten wie möglich zu pausieren. Die Gehstrecke wurde in Metern erfasst [36].

Zur Information des Teilnehmers erfolgten regelmäßige Zeitansagen. Zur Berechnung der Sollwerte des 6MWD wurde die Gleichung von Troosters genutzt [114]. Nach einem Vergleich des Sollwertes mit dem Istwert ist es möglich, den Wert 6MWD%predicted (6MWD%pred.) zu ermitteln [115]:

Berechnungsformel nach Troosters [115]:

**6MWD (m)** = 218 + [5,14 x Größe(cm) - 5,32 x Alter(Jahren)] - [1,8 x Gewicht (kg)] + [51,31 x Geschlecht (Frauen: 0, Männer: 1)]

### 3.3.4. BORG-SKALA

Unmittelbar vor Beginn und nach Ablauf des 6-Minuten-Gehtests wurden die Teilnehmer aufgefordert, ihr subjektives Empfinden von Dyspnoe und Erschöpfung anhand einer validierten deutschen Version der modifizierten Borg-Skala anzugeben, die in Tabelle 8 zu sehen ist.

Diese 10-Punkte-Skala ermöglicht die Bewertung des Grades der Atemnot auf einer Skala von 0 bis 10. Dabei steht „0“ für keinerlei Beschwerden, „10“ gibt maximale Atemnot bzw. Erschöpfung an [116]. Jeder Patient wurde zuvor anhand eines Ausdrucks über die Handhabung der BORG-Skala aufgeklärt.

**TABELLE 8: ORIGINALE BORG CR10 SKALA (1982) INS DEUTSCHE ÜBERSETZT [117]:**

|     |   |
|-----|---|
| 0   | Überhaupt keine Atemnot                     |
| 0,5 | Sehr sehr milde Atemnot (knapp wahrnehmbar) |
| 1   | Sehr milde Atemnot                          |
| 2   | Milde Atemnot                               |
| 3   | Mäßige Atemnot                              |
| 4   | Recht schwere Atemnot                       |
| 5   | Schwere Atemnot                             |
| 6   |   |
| 7   | Sehr schwere Atemnot                        |
| 8   |   |
| 9   | Sehr sehr schwere Atemnot (fast maximal)    |
| 10  | Maximale Atemnot                            |



### 3.3.5. FIVE-TIMES-SIT-TO-STAND-TEST (FTSTST)

Der Five-Times-Sit-to-Stand-Test, im Deutschen als „Stuhl-Aufstehetest“ bekannt, misst die Zeit in Sekunden, die der Proband zur Ausführung benötigt. Er stellt einen Funktionstest dar und lässt Aussagen über die funktionelle Muskelkraft der unteren Extremitäten zu [118, 119].

Die Teilnehmer sollten fünfmal hintereinander so schnell wie möglich aus einem Stuhl mit einer Höhe von 46 cm Sitzhöhe (Standardhöhe) ohne Einsatz der Arme aufstehen. Um das Abstützen mit den Armen zu verhindern, wurde ein Stuhl ohne Armlehnen benutzt, der frei in einem Raum stand. Zusätzlich wurden die Teilnehmer aufgefordert die Arme vor der Brust zu kreuzen. Das Aufstehen sollte bis zur subjektiven Streckung der Hüfte und Knie durchgeführt werden. Die benötigte Zeit wurde mit einer Stoppuhr gemessen und in Sekunden angegeben [120, 121]. Die Abbildung 7 zeigt einen Probanden in den beiden Positionen des FTSTST, sitzend und stehend.



ABBILDUNG 7: BEWEGUNGSABLAUF BEIM FIVE-TIMES-SIT-TO-STAND-TEST [122]

### 3.3.6. LEGPRESS PEAK FORCE

Die Ermittlung der theoretischen Maximalkraft der unteren Extremitäten wurde vor dem ersten Training mit Hilfe der Beinpresse (Funktionsstemme Reha; MedLife™; Gallbrunn; Österreich) ausgeführt.

Nach einem beaufsichtigten Aufwärmprogramm wurde mit dem Sportlehrer ein Testgewicht an der Beinpresse ausgewählt.

Der Proband führte nun die Übung an dem Gerät aus. Schaffte der Proband mehr als 20 Wiederholungen mit korrekter Ausführung, wurde der Durchgang unterbrochen. Nach einer dreiminütigen Pause wurde ein höheres Gewicht gewählt.

Dabei wurde der Wert „1-Repetition Maximum“ (1-RM) ermittelt, der das maximale Gewicht vorgibt, mit dem der Proband die Übung korrekt und präzise ausführen kann.

$$1\text{-RM} = \text{gestemmttes Gewicht} / [1,0278 - (\text{Wiederholungen} \times 0,0278)]$$

Beispiel: Der Proband absolviert 6 einwandfreie Wiederholungen an der Beinpresse bei einem Trainingsgewicht von 70 kg. Um die 1-RM zu errechnen und die Maximalkraft in kg zu erhalten wird folgende Rechnung durchgeführt:

$$70 / [1,0278 - (6 \times 0,0278)] = 70 / 0,861 = \mathbf{81,3 \text{ kg}}$$

Der Sportlehrer erhöht das zu stemmende Gewicht an der Beinpresse und lässt den Probanden jedes Mal die Übung einmal ausführen. Kann das Gewicht erfolgreich gestemmt werden, pausiert der Proband 3 bis 5 Minuten, bevor die Übung mit erhöhtem Gewicht wiederholt wird. Dieser Vorgang wird solange durchgeführt, bis der Proband die Übung nicht mehr ausführen kann, da das Gewicht zu hoch ist. Man setzt für gewöhnlich bei 60 bis 80 % der 1-RM ein.

### 3.3.7. EINBEINSTAND (OLS)

Zur Durchführung des Einbeinstandes (One leg stance) wurden die Probanden zuvor gebeten, ihr Standbein zu benennen. Falls dies nicht möglich war, wurde eine Hilfestellung zur Bestimmung angeboten. Dabei wurde ein Ball vor den Teilnehmer platziert, der durch den Raum „geschossen“ werden sollte. Das Bein, welches den Tritt ausführte, wurde als „dominantes“ Bein festgelegt.

Die Probanden stellten sich nun frei im Raum auf das festgelegte Bein und hoben das andere Bein deutlich vom Boden ab. Als Orientierung war die Knöchelhöhe des Standbeins angegeben. Die Augen hielten sie dabei geöffnet und fixierten einen beliebigen gegenüberliegenden Punkt. Die Arme sollten währenddessen in die Hüften gestemmt werden.

Es wurde darauf geachtet, dass in dieser Position kein Kontakt zu Wänden oder Möbeln vorhanden war.

Mit dem Anheben des Beins wurde die Zeitmessung gestartet.

Sobald die Probanden sich mit Hilfe der Arme an Wänden o. ä. abstützten oder den angehobenen Fuß absetzten, wurde die Zeit gestoppt und die Sekundenzahl notiert.

Konnten die Teilnehmer die Position über eine Minute halten, so wurde der Test abgebrochen und erneut mit geschlossenen Augen durchgeführt [123, 124].

### 3.3.8. BERG BALANCE SKALA (BBS)

Bei der BBS handelt es sich um ein Testverfahren, um Aussagen über die Gleichgewichtsfähigkeit des Probanden zu treffen [125].

Die Skala beinhaltet 14 Aufgaben, welche Fähigkeiten wie Aufstehen, Umdrehen, Bücken testen [126]. Zur Durchführung dieser Aufgaben werden eine Stoppuhr, ein Stuhl mit Armlehnen, eine Stufe, ein Objekt zum Aufheben und ein Maßband benötigt. Eine der Aufgaben lautet z. B. „Heben sie den Gegenstand vom Boden auf“. Bewertet wird die Ausführung jeder Aufgabe mit 0 bis 4 Punkten, so dass eine Gesamtpunktzahl von 56 erreicht werden kann. Konnte die Aufgabe problemlos ausgeführt werden, werden 4 Punkte vergeben, konnte der Proband den Gegenstand nicht aufheben, so erhält er dafür 0 Punkte.

Je höher die Gesamtpunktzahl desto besser die Gleichgewichtsfähigkeit des Probanden [127, 128].

Allerdings wird für die BBS ein sogenannter „ceiling“-Effekt diskutiert, da es bei vielen Probanden trotz maximaler Punktzahl der BBS zu Gleichgewichtsstörungen und Stürzen kommt. Der Test ist somit nicht ausreichend diskriminativ, um diese Unterschiede herauszustellen [126].

### *3.3.9. LEBENSQUALITÄT*

Zur Ermittlung der krankheitsspezifischen Lebensqualität wurde den Probanden der Saint George Respiratory Questionnaire und der COPD-Assessment Test (CAT) ausgehändigt. In ruhiger Umgebung konnten sie die Fragebögen sitzend beantworten.

Beide Tests sind im Abschnitt 1.6. näher beschrieben. Vorlagen beider Fragebögen befinden sich im Anhang.

### *3.3.10. SONOGRAPHISCHE MUSKELPLANOMETRIE*

Bei jedem Teilnehmer wurde eine sonographische Muskelplanometrie der beiden Muskelanteile M. vastus intermedius und M. rectus femoris des quadriceps femoris durchgeführt.

Am liegenden Teilnehmer wurde mithilfe eines Maßbandes der Messpunkt ermittelt und markiert. Dazu wurde der Abstand zwischen Spina iliaca anterior superior und dem Patellaroberrand ausgemessen. Der zu ermittelnde Messpunkt befand sich 2/5 dieses Abstandes vom Patellaroberrand. Dies ist die höchste mögliche Stelle, an der sich der quergeschnittene M. quadriceps femoris in den meisten Fällen noch darstellen lässt. Mit dem B-mode- Ultraschallkopf - auf den Kontaktgel aufgetragen - wurde eine Einstellung gewählt, bei der beide Muskelanteile (M. vastus intermedius/ M. rectus femoris) möglichst gut darstellbar waren.

Gab es Schwierigkeiten bei der Auffindung der Muskelquerschnitte, so wurden die Teilnehmer zwischendurch aufgefordert, den Oberschenkel zu kontrahieren.

Sobald eine gute Darstellung möglich war, wurde die Hüllkurve des jeweiligen Muskels mit dem Cursor auf dem zuvor eingefrorenen Bild umfahren.

Mithilfe des planometrischen Modus des Sonographiegerätes (HD 11XE, Fa.PHILLIPS) wurden die Querschnittsflächen in cm<sup>2</sup> berechnet.

Dies wurde pro Muskelanteil viermal durchgeführt, so dass anschließend der Mittelwert der Querschnittswerte berechnet werden konnte [81, 129].

### 3.4. TRAININGSABLAUF

#### 3.4.1. TRAININGSGERÄT GALILEO®

Das in der Studie eingesetzte Trainingsgerät „Galileo® Advanced“ wird von der Firma Novotec Medical GmbH in Pforzheim, Deutschland hergestellt. Es besteht aus einer Plattform sowie einer angebauten Stange mit Haltegriff. Die maximale Belastbarkeit des Trainingsgerätes beträgt 140 kg, so dass es auch von adipösen Patienten genutzt werden kann [90].

Durch seitenalternierende Bewegungen, ähnlich einer Wippe, erzeugt die Trainingsplatte mechanische Vibrationen, die das Bewegungsmuster des physiologischen menschlichen Ganges simulieren. Durch diese charakteristische Bewegung wird abwechselnd das rechte und das linke Bein auf- und abwärts gedrückt und somit eine Dehnung der Extensormuskulatur der unteren Extremitäten gefördert [90, 130].

Die Amplitude der Vibration der Platte wird verstellt, indem unterschiedliche Fußpositionen gewählt werden, je breitbeiniger der Proband auf der Platte steht desto höher die Amplitude und anstrengender das Training. Markierte Positionen sind zu diesem Zweck auf der Platte angegeben (siehe Kapitel 1.10.2. Ganzkörpervibrationstraining).

Die Frequenz der Vibrationen in der Einheit Hertz konnte an der Platte selbst eingestellt werden [90]. Im Trainingsplan wurden die Standpositionen 2 bis 3 genutzt sowie aufsteigend die Frequenzen 8 bis 26 Hz.

Der Abbildung 8 ist der Aufbau des Trainingsgeräts zu entnehmen sowie die vom Probanden eingenommene Standposition darauf.



**ABBILDUNG 8: PROBAND IN STANDPOSITION AUF DER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE**

### *3.4.2. AUFBAU DER TRAININGSEINHEITEN MIT DER GALILEO®-VIBRATIONSPLATTE*

Im dreimonatigen Trainingsintervall waren 24 Trainingstermine für jeden Teilnehmer der WBVT-Gruppe angesetzt (siehe Tabellen 11 bis 13). Pro Woche sollten zwei Termine eingehalten werden.

Innerhalb der gesamten Zeit waren zwei Fehltermine möglich, jeder weitere verpasste Termin wurde nach Rücksprache mit dem Trainer nachgeholt.

Jeder Trainingstermin begann mit einer Aufwärmereinheit von ca. 10 Minuten, dabei konnten sich die Teilnehmer je nach Präferenz zwischen Laufband und Fahrradergometer entscheiden und führten anschließend leichte Dehnübungen aus.

Daran schloss sich das Ganzkörpervibrationstraining an (siehe Tabelle 9).

Das Ziel des Trainings mit der Galileo®-Vibrationsplatte war es, über die Abgabe unterschiedlich starker Frequenzen Regelkreise für Balance, Propriozeption, Dehnung und Muskelkontraktion anzusprechen.

Die Probanden stehen barfuß (oder in Socken) in der Position einer isometrischen Kniebeuge. Dabei sind die Knie in einem 150° Winkel gebeugt, ebenso die Hüfte.

Es wird ein leichtes Hohlkreuz ausgebildet [37, 131].

Der Zweck dieser Beugung war unter anderem, Vibrationen im Oberkörper- und Kopfbereich abzdämpfen.

Die Höhe der Frequenz, mit der trainiert wurde, wurde in regelmäßigen Abständen erhöht (alle 2 bis 3 Termine). So konnten die diversen Wirkungen der unterschiedlichen Frequenzhöhen ausgenutzt werden. Das Training begann für jeden Teilnehmer mit 8 Hz (siehe Tabelle 11).

Mit 24 Hz wurde das Trainingsintervall nach 3 Monaten abgeschlossen (siehe Tabelle 10,13).

Die Amplitudengröße wurde über die Fußstellung festgelegt und variierte im Verlauf zwischen den Positionen 2, 2½ und 3.

Eine Einheit auf der Vibrationsplatte dauerte drei Minuten. Diese wurde je nach Termin zwei- bis dreimal wiederholt, so dass das Vibrationstraining nach sechs bis neun Minuten beendet war (siehe Tabellen 11 bis 13).

Mit zunehmendem Fortschritt des Trainingsintervalls wurden die Einheiten häufiger (dreimal) wiederholt, da zu dieser Zeit eine bessere Ausdauer und Toleranz gegenüber der Vibration vorausgesetzt wurde. Im Anschluss an jede dreiminütige Vibrationseinheit pausierten die Teilnehmer zwei Minuten lang. In dieser Zeit stand es den Teilnehmern frei, sich im Raum zu bewegen oder auf einem Hocker Platz zu nehmen, je nach Grad der Erschöpfung.

Nach Abschluss aller Einheiten auf der Galileo®-Vibrationsplatte wurde jedes Mal die Erschöpfung anhand der BORG-Skala abgefragt und notiert.

Zum Schluss fand eine 5- bis 10-minütige Cool-down-Phase statt. Dabei konnten die Probanden erneut zwischen Fahrradergometer und Laufband auswählen (siehe Tabelle 9).

**TABELLE 9: ABLAUF EINES TRAININGSTERMINS IN DER WBVT-GRUPPE:**

| <b>Phase</b>  | <b>Dauer (min.)</b>        |
|---|----------------------------|
| <b>1. Aufwärmen (Laufband, Fahrradergometer, Dehnübungen)</b> | <b>10</b>                  |
| <b>2. Galileo®-Training</b>                                   | <b>9/15 (inkl. Pausen)</b> |
| <b>3. Cool-down (Fahrradergometer, Laufband)</b>              | <b>5-10</b>                |

Im Zuge des Galileo®-Vibrationstrainings wurden im ersten Monat niedrige Frequenzen (8 bis 12 Hz) angewandt. Diese dienten der Muskellockerung. Da es sich bei den Teilnehmern um trainingsnaive COPD-Patienten handelte, war auf einen schonenden Einstieg mit niedrigen Frequenzen zu achten.

Die mittleren Frequenzen (12 bis 20 Hz) erzeugten gezielt Kontraktions- und Relaxationszyklen der Muskulatur, so dass die reflexgesteuerte Muskelfunktion trainiert wurde. Das Trainingsziel in diesem Monat war das Training der Muskelfunktion und die Koordination.

Im letzten Monat wurden die Frequenzen in den hochfrequenten Bereich gesteigert (bis zu 24 Hz). Es kam dann zum vorzeitigen Abbruch der Relaxationszyklen und zur Verlängerung der Kontraktionszeit des Muskels. Dies hatte gesteigerte Effekte auf die Muskelleistung und führte in dieser Zeit zum Training der Kraftausdauer (siehe Tabelle 10).

**TABELLE 10: ÜBERSICHT ÜBER TRAININGSUMFANG, FREQUENZ UND INTENSITÄT [132]:**

| <b>1. - 4. Woche</b>  | <b>5. - 8. Woche</b>  | <b>9. - 12. Woche</b>  |
|---|---|--|
| Muskellockerung   | Muskelfunktion,<br>Koordination                             | Leistungs- und<br>Krafttraining                                |
| 8 - 10 Hz   | 12 - 18 Hz  | 21 - 24 Hz   |
| 4 Wochen,<br>2 x wöchentlich Training,<br>Dauer: 3 x 2 min. | 4 Wochen,<br>2 x wöchentlich Training,<br>Dauer: 3 x 3 min. | 4 Wochen,<br>2 x wöchentlich<br>Training, Dauer: 3 x 3<br>min. |



**TABELLE 11: TRAININGSPLAN FÜR DAS WBVT IM ERSTEN MONAT [132]:**

| 1. Monat       | Trainingsziel: <b>Muskellockerung</b> |    |          |     |          |    |          |    |
|----------------|---------------------------------------|----|----------|-----|----------|----|----------|----|
| Woche          | 1. Woche                              |    | 2. Woche |     | 3. Woche |    | 4. Woche |    |
| Termin         | 1.                                    | 2. | 3.       | 4.  | 5.       | 6. | 7.       | 8. |
| Zeit (min.)    | 3                                     | 3  | 3        | 2   | 2        | 2  | 2        | 2  |
| Frequenz (Hz)  | 8                                     | 8  | 10       | 10  | 10       | 12 | 12       | 12 |
| Fußstellung    | 2                                     | 3  | 2        | 2,5 | 3        | 2  | 2,5      | 3  |
| Wiederholungen | 2                                     | 2  | 2        | 2   | 2        | 2  | 2        | 2  |
| Pause (min.)   | 2                                     |    |          |     |          |    |          |    |

**TABELLE 12: TRAININGSPLAN FÜR DAS WBVT IM ZWEITEN MONAT [132]:**

| 2. Monat       | Trainingsziel: <b>Muskelfunktion und Koordination</b> |     |          |     |          |     |          |     |
|----------------|---|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|
| Woche          | 5. Woche  |     | 6. Woche |     | 7. Woche |     | 8. Woche |     |
| Termin         | 9.  | 10. | 11.      | 12. | 13.      | 14. | 15.      | 16. |
| Zeit (min.)    | 3   |     |          |     |          |     |          |     |
| Frequenz (Hz)  | 14  | 14  | 16       | 16  | 18       | 18  | 20       | 20  |
| Fußstellung    | 2   | 3   | 2        | 3   | 2        | 3   | 2        | 3   |
| Wiederholungen | 2   | 3   | 2        | 3   | 2        | 3   | 2        | 3   |
| Pause (min.)   | 2   |     |          |     |          |     |          |     |

**TABELLE 13: TRAININGSPLAN FÜR DAS WBVT IM DRITTEN MONAT [132]:**

| 3. Monat       | Trainingsziel: <b>Leistungs- und Krafttraining</b> |     |           |     |           |     |           |     |
|----------------|--|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| Woche          | 9. Woche   |     | 10. Woche |     | 11. Woche |     | 12. Woche |     |
| Termin         | 17.  | 18. | 19.       | 20. | 21.       | 22. | 23.       | 24. |
| Zeit (min.)    | 3  |     |           |     |           |     |           |     |
| Frequenz (Hz)  | 22   | 22  | 24        | 24  | 24        | 24  | 24        | 24  |
| Fußstellung    | 2  | 3   | 2         | 3   | 3         | 3   | 3         | 3   |
| Wiederholungen | 2  | 3   | 2         | 3   | 3         | 3   | 3         | 3   |
| Pause (min.)   | 2  |     |           |     |           |     |           |     |

### *3.4.3. AUFBAU DES TRAININGS DER KONTROLLGRUPPE (CTG)*

Das Training der Kontrollgruppe (CTG: „calisthenics training group“) fand zweimal wöchentlich im Fitnessraum des Vereins für Gesundheitssport und Sporttherapie Leverkusen e. V. (VGS) im Ärztehaus des St. Remigius Krankenhauses Opladen statt. Die Dauer einer Einheit betrug 30 min. und wurde von einem erfahrenen Diplom-Sportlehrer geleitet.

Im Mittelpunkt des Trainings standen Entspannungs- und Atemübungen, die mit Eigengewichtübungen kombiniert wurden.

Die ersten 15 Minuten erfolgte eine allgemeine Aufwärmung. Häufig wurde dieser Teil im Sitzen auf Hockern durchgeführt. Das Ziel war die Anregung des Herz-Kreislauf-Systems sowie der Atmung durch leichte Dehnungsübungen der Rumpfmuskulatur. Auch der Hauptteil der Trainingseinheit fand zum größten Teil im Sitzen statt. Im Mittelpunkt standen die Stabilisation der Wirbelsäule, statische muskuläre Anspannungen unter Anwendung der Lippenbremse sowie das Einüben atemerleichternder Körperstellungen.

Im Anschluss wurden Bewegungsübergänge aus dem Sitz in die Seitenlage und Rückenlage trainiert.

Die Stunde wurde in Rückenlage abgeschlossen. Er beinhaltete Elemente der progressiven Muskelrelaxation nach Jacobson sowie Einheiten autogenen Trainings. Die Atemberuhigung stand dabei im Mittelpunkt.

### *3.4.4. STATISTIK*

Die Stichprobengröße wurde mit G\*Power 3.1 (Universität Kiel) ermittelt. Es wurde eine Anzahl von 18 Probanden pro Gruppe ermittelt, wobei ein zweiseitiger Test mit einer Power (1-beta) von 95 % und ein alpha-Fehler von 5 % angenommen wurden.

Die statistische Evaluation erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 20 (IBM, Inc., USA).

Alle erzielten Messwerte werden in Mittelwert und Standardabweichung angegeben.

Zur Bestimmung der Veränderung über den Drei-Monatszeitraum wurden Delta-Werte für jeden Parameter bestimmt, indem der pre- (baseline) und post- (nach 3 Monaten) Messung subtrahiert wurden. Es erfolgte ein Inter- und ein Intragruppenvergleich. Für den Intergruppenvergleich wurde der Mann-Whitney-U-Test (U-Test) verwendet. Für den Intragruppenvergleich wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test (W-Test) angewandt.

Zum Vergleich des Geschlechts, des COPD-Grades sowie der Komorbiditäten des Patientenkollektivs wurde der  $\chi^2$ -Test eingesetzt, bei den anderen Baseline-Parametern der U-Test. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  festgelegt.

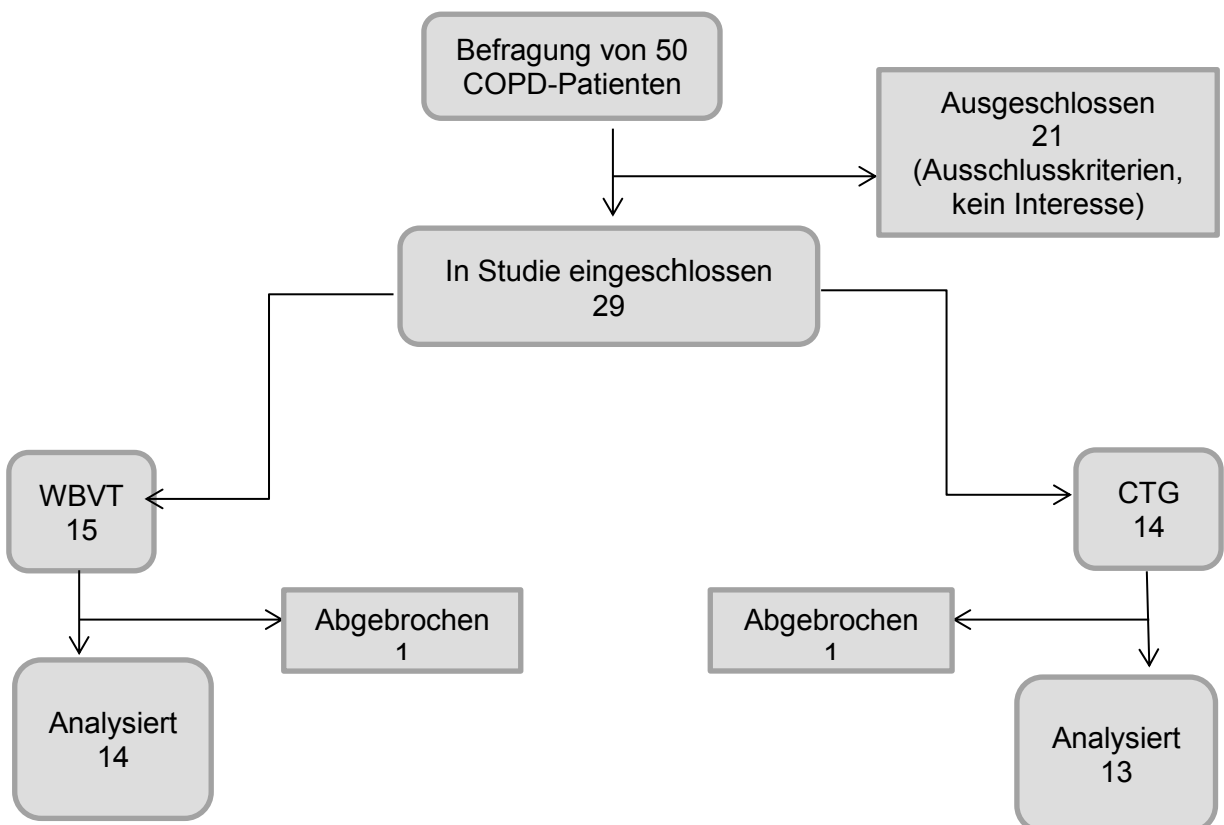
## 4. ERGEBNISSE

### 4.1. ANTHROPOMETRIE

#### 4.1.1. PROBANDENCHARAKTERISTIKA

Für eine Teilnahme an der vorliegenden klinischen Studie interessierten sich 50 protokollierte Patienten. 29 Patienten kamen für die Studie in Frage, stimmten der Teilnahme schriftlich zu und wurden für die Studie randomisiert.

27 Probanden (WBVT: n = 14, CTG: n = 13) beendeten die Studie und nahmen an den Abschlussmessungen teil. In beiden Gruppen gab es jeweils einen Studienabbrecher. Diese zwei Probanden wurden als Drop-Out gewertet und von der Auswertung ausgeschlossen. Das folgende Flussdiagramm in Abbildung 9 veranschaulicht diesen Sachverhalt.



**ABBILDUNG 9: FLUSSDIAGRAMM ZUR DARSTELLUNG DER GEFRAGTEN, REKRUTIERTEN UND ANALYSIERTEN PROBANDEN DER STUDIE**

Tabelle 14 stellt die anthropometrischen Daten der Studienteilnehmer aus den beiden Gruppen WBVT und CTG sowie die wichtigsten Werte aus der Einschussmessung dar. Dabei zeigten die beiden Gruppen folgende Mittelwerte und Standardabweichungen (MW  $\pm$  SD) für das Alter (in Jahren): WBVT: 69  $\pm$  5, CTG: 72  $\pm$  7, den BMI (in kg/m<sup>2</sup>): WBVT: 29,5  $\pm$  8,8, CTG: 30,7  $\pm$  3,3, die FEV1 (in l): WBVT: 1,4  $\pm$  0,5, CTG: 1,7  $\pm$  0,5, Tiffeneau-Index (in %): WBVT: 53,6  $\pm$  15,0, CTG: 61,7  $\pm$  7,9, 6MWD (in m): WBVT: 519  $\pm$  93, CTG: 504  $\pm$  134, FTSTST (in sec): WBVT: 14,3  $\pm$  5,3, CTG: 16,2  $\pm$  4,6, Legpress peak force (in kg): WBVT: 99,3  $\pm$  40,6, CTG: 126  $\pm$  40,5).

Bis auf einen signifikanten Unterschied bezüglich des Ergebnisses im FTSTST gab es keine weiteren Unterschiede hinsichtlich der Parameter zwischen den beiden Studiengruppen.

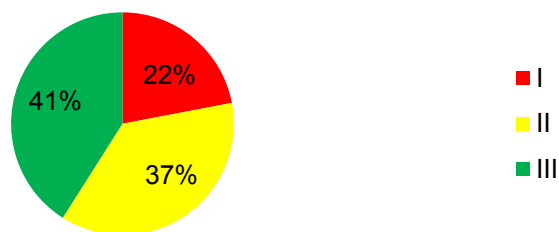
**TABELLE 14: ANTHROPOMETRISCHE DATEN DER PROBANDEN: (BMI: BODY MASS INDEX)**

|                                 | <b>WBVT (n = 14)</b> | <b>CTG (n = 13)</b> | <b>p-Wert</b> |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| <b>Geschlecht (m/w)</b>         | 7/7                  | 7/6                 | 0,842         |
| <b>Alter [Jahre]</b>            | 69 $\pm$ 5           | 72 $\pm$ 7          | 0,342         |
| <b>Packyears</b>                | 32 $\pm$ 25          | 25 $\pm$ 21         | 0,528         |
| <b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>   | 29,5 $\pm$ 8,8       | 30,7 $\pm$ 3,3      | 0,382         |
| <b>FEV1 [l]</b>                 | 1,4 $\pm$ 0,5        | 1,7 $\pm$ 0,5       | 0,645         |
| <b>FEV1 % pred.</b>             | 59,0 $\pm$ 19,5      | 59,5 $\pm$ 20,7     | 0,846         |
| <b>Tiffeneau Index [%]</b>      | 53,6 $\pm$ 15,0      | 61,7 $\pm$ 7,9      | 0,382         |
| <b>6-MWD [m]</b>                | 519 $\pm$ 93         | 504 $\pm$ 134       | 0,560         |
| <b>FTSTST [sec]</b>             | 14,3 $\pm$ 5,3       | 16,2 $\pm$ 4,6      | 0,033         |
| <b>Legpress peak force [kg]</b> | 99,3 $\pm$ 40,6      | 126 $\pm$ 40,5      | 0,123         |

#### 4.1.2. VERTEILUNG DER COPD-SCHWEREGRADE

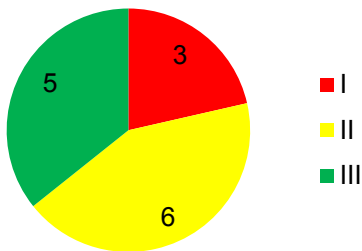
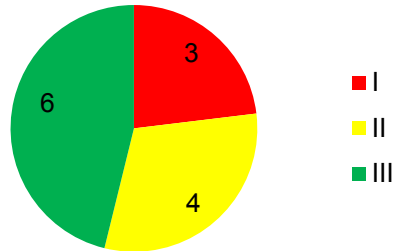
Die Darstellung in Abbildung 10 zeigt die Verteilung der GOLD-Stadien innerhalb des Patientenkollektivs. 22 % der Probanden wiesen den Schweregrad I nach GOLD auf. 37 % der Probanden waren Schweregrad 2 zuzuordnen. Den größten Anteil hatten die Probanden des Schweregrades III mit 41 %.

#### Prozentuale Verteilung der Schweregrade im gesamten Patientenkollektiv



**ABBILDUNG 10: VERTEILUNG DER COPD-SCHWEREGRADE I, II UND III IM PATIENTENKOLLEKTIV**

Die Verteilung der Schweregrade innerhalb der einzelnen Gruppen WBVT und CTG ist in der nachfolgenden Abbildung 11 dargestellt. Dabei zeigten die Verteilungen der COPD-Schweregrade der beiden Gruppen keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,797$ ).

**WBVT (n = 14)****CTG (n = 13)****ABBILDUNG 11: VERTEILUNG DER COPD-SCHWEREGRADE I, II UND III IN DEN GRUPPEN**

#### 4.1.3. KOMORBIDITÄTEN

Neben der COPD wiesen die Studienteilnehmer diverse Vorerkrankungen auf. Tabelle 15 stellt die häufigsten Komorbiditäten dar, zu denen arterielle Hypertension, kardiovaskuläre Erkrankungen, maligne Tumore sowie Diabetes mellitus Typ II gehören.

**TABELLE 15: KOMORBIDITÄTEN IM GESAMTEN STUDIENKOLLEKTIV:**

| Komorbidität                    | Anzahl der Patienten insgesamt (n = 27) |
|---------------------------------|---|
| Arterielle Hypertension, n      | 10                                      |
| Kardiovaskuläre Erkrankungen, n | 6                                       |
| Maligne Tumoren, n              | 5                                       |
| Diabetes mellitus Typ II, n     | 5                                       |

Die Verteilung der Komorbiditäten innerhalb der Gruppen wird in Tabelle 16 dargestellt. Die Anzahl der Studienteilnehmer mit einer Komorbidität waren gleichmäßig auf die beiden Gruppen aufgeteilt. In der WBVT wiesen 14 Personen eine Komorbidität auf, in der CTG 13 Personen. Innerhalb des gesamten Studienkollektivs wiesen 7 Probanden zwei oder mehr der in Tabelle 15 genannten Komorbiditäten auf.

Bei drei Probanden waren keine Komorbiditäten bekannt.

**TABELLE 16: ARTEN DER KOMORBIDITÄTEN UND VERTEILUNG IN WBVT UND CTG:**

| <b>Komorbiditäten</b>                    | <b>WBVT (n = 14)</b> | <b>CTG (n = 13)</b> | <b>p-Wert</b> |
|--|----------------------|---------------------|---------------|
| <b>Arterielle Hypertension, n (%)</b>    | 6 (43 %)             | 4 (31 %)            | 0,516         |
| <b>Diabetes mellitus II, n (%)</b>       | 2 (14 %)             | 3 (23 %)            | 0,557         |
| <b>Maligne Tumoren (%)</b>               | 2 (14 %)             | 3 (23 %)            | 0,557         |
| <b>Kardiovaskuläre Erkrankung, n (%)</b> | 4 (28 %)             | 2 (15 %)            | 0,410         |



#### 4.1.4. DROP-OUTS

Von den 29 in die Studie eingeschlossenen Probanden beendeten zwei Probanden die Studie nicht. Jeweils ein Proband aus der WBVT-Gruppe und der CTG brachen ihre Teilnahme vorzeitig ab und nahmen nicht an der Abschlussmessung teil. Die Drop-Out-Quote beträgt somit insgesamt 6,9 %. Zu den Ursachen des vorzeitigen Abbruchs gehörte fehlender Antrieb aufgrund einer plötzlichen Erkrankung des Lebensgefährten sowie ein operativer Eingriff.

#### 4.2. INTRA-GRUPPENVERGLEICH

##### 4.2.1. WBVT

##### Leistungsparameter

In der WBVT-Gruppe wurden zunächst Veränderungen über die Zeit untersucht. Die Gruppe verbesserte sich im 6MWD, dem primären Endpunkt, signifikant ( $p = 0,001$ ). So kam es zu einer Zunahme der zurückgelegten Gehstrecke von  $519 \pm 93$  m in der Einschussmessung, auf  $607 \pm 113$  m in der Abschlussmessung.

Somit wurde in der WBVT ein durchschnittlicher Zugewinn von  $88 \pm 51$  m in der Gehstrecke des 6MWD erzielt.

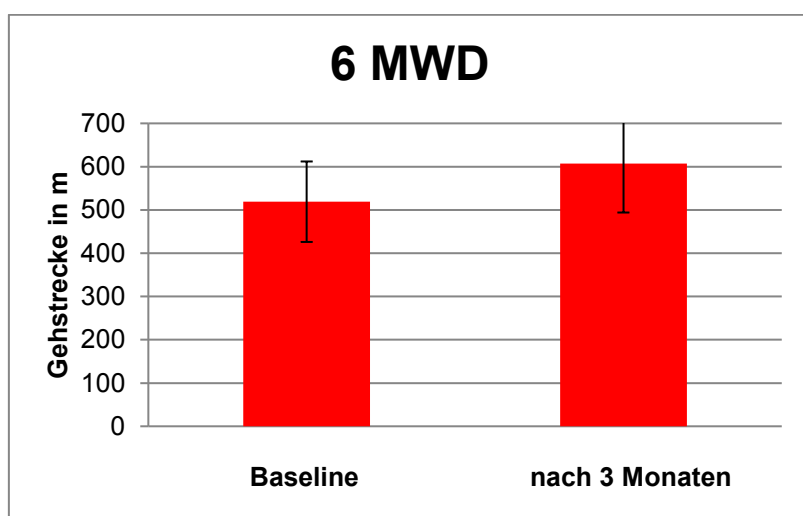


ABBILDUNG 12: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES 6MWD VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL IN DER WBVT ( $p = 0,001$ )

Auch stieg der 6MWD%pred. um einen Wert von 21 an, was ebenfalls eine signifikante Veränderung darstellt ( $p = 0,001$ ).

In der Tabelle 17 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen in Meter angegeben sowie der prozentuale Anteil an der Soll-Gehstrecke (6MWD-%pred.) Diese wurde mithilfe der Berechnungsformel nach Troosters (Kapitel 3.3.3.) ermittelt.

**TABELLE 17: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE DES 6MWD UND 6MWD-%PRED IN DER WBVT:**

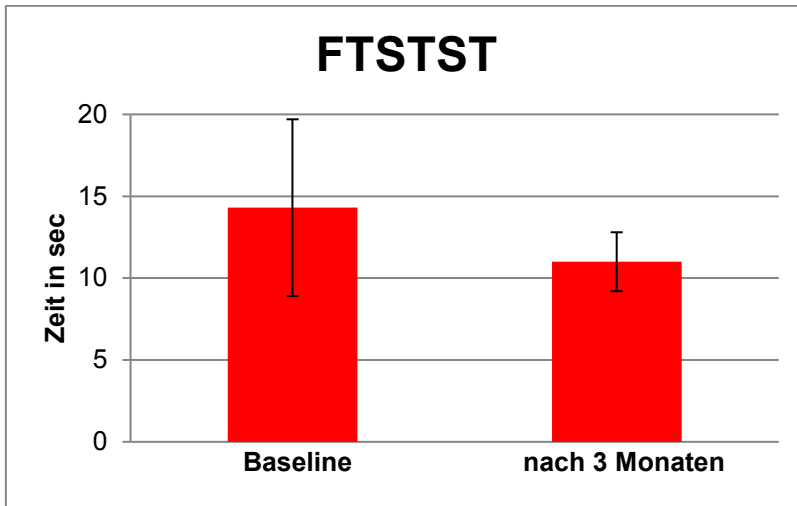
|               | <b>WBVT Baseline</b> | <b>WBVT 3 Monate</b> | <b>Delta</b> | <b>p-Wert</b> |
|---------------|----------------------|----------------------|--------------|---------------|
| <b>6-MWD</b>  | 519 ±                | 607 ±                | 88 ±         | 0,001         |
| [m]           | 93                   | 113                  | 51           |               |
| <b>6-MWD</b>  | 89,4 ±               | 104,7 ±              | 15,3 ±       | 0,001         |
| <b>%pred.</b> | 15,4                 | 19,6                 | 9,2          |               |

Auch innerhalb der sekundären Parameter kam es zu signifikanten Veränderungen.

Im FTSTST verbesserte sich die WBVT-Gruppe ebenfalls signifikant ( $p = 0,001$ ).

So reduzierte sich die Zeitdauer zur Ausübung des FTSTST von  $14,3 \pm 5,4$  Sekunden auf  $11,0 \pm 1,8$  Sekunden.

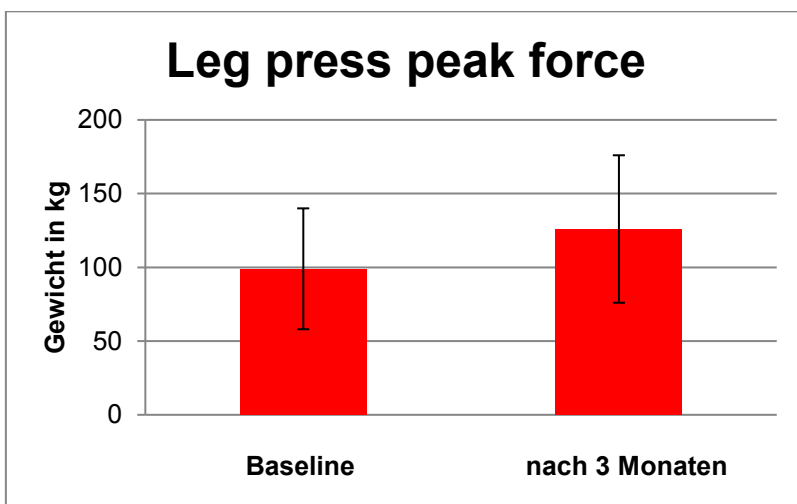
In der Abschlussmessung waren somit die Probanden durchschnittlich  $3,3 \pm 3,9$  Sekunden schneller als vor der Trainingsintervention (siehe Abbildung 13).



**ABBILDUNG 13: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES FTSTST VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL IN DER WBVT (p = 0,001)**

In der WBVT-Gruppe zeigte sich durch die Trainingsintervention eine signifikante Zunahme der Legpress Peak Force (Maximalkraft der unteren Extremitäten) um  $27 \pm 15$  kg ( $p = 0,001$ ).

Während die Probanden zu Studienbeginn  $99 \pm 41$  kg an der Beinpresse stemmen konnten, waren es nach der dreimonatigen Trainingsintervention  $126 \pm 50$  kg (siehe Abbildung 14).



**ABBILDUNG 14: VERGLEICH DER MITTELWERTE DER LEG PRESS PEAK FORCE VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL IN DER WBVT (p = 0,001)**

## Gleichgewichtsparameter

Die beobachteten Gleichgewichtsparameter „Berg-Balance-Skala“ und „One leg stance“ wiesen in der WBVT-Gruppe folgende Veränderungen auf:

In der BBS zeigte sich eine signifikante Zunahme der Punktezahl um  $2,1 \pm 3,4$  Punkte ( $p = 0,05$ ).

Nach der Trainingsintervention ist die durchschnittliche Punktzahl von  $51,9 \pm 4,4$  Punkte auf  $53,9 \pm 2,8$  Punkte angestiegen.

Im OLS konnte keine Signifikanz festgestellt werden. Dennoch konnte ein Anstieg der Zeit im OLS gemessen werden.

Die Standfähigkeit auf einem Bein erhöhte sich um  $1,9 \pm 15,7$  Sekunden und stieg von  $10,7 \pm 15,6$  auf  $12,6 \pm 13,1$  Sekunden an.

### 4.2.2. CTG

## Leistungsparameter

In der CTG war keine signifikante Zunahme der Gehstrecke im 6MWD zu vermerken.

Die im Test zurückgelegte Distanz nahm im Mittel um  $17 \pm 35$  m zu ( $p = 0,1$ ).

Entsprechend war der 6MWD-%pred. mit einem Anstieg von 5 ebenfalls nicht signifikant ( $p = 0,750$ ). Tabelle 18 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen für den 6MWD und 6MWD-%pred. an.

**TABELLE 18: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE DES 6MWD UND 6MWD-%PRED IN DER CTG:**

|                               | <b>CTG<br/>Baseline</b> | <b>CTG<br/>3 Monate</b> | <b>Delta</b>     | <b>p-<br/>Wert</b> |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|--------------------|
| <b>6-MWD</b><br>[m]           | $504 \pm$<br>134        | $521 \pm$<br>121        | $17 \pm$<br>35   | 0,10               |
| <b>6-MWD</b><br><b>%pred.</b> | $84,7 \pm$<br>21,0      | $97,9 \pm$<br>20,3      | $3,2 \pm$<br>6,4 | 0,09               |

Im FTSTST verbesserte sich die CTG lediglich um 0,6 Sekunden,  $p = 0,78$ .

Ebenfalls gab es keine signifikanten Ergebnisse bei der Muskelkraft der unteren Extremitäten, die mit der Legpress peak force ermittelt wurde.

Diese sank im Verlauf von  $126 \pm 41$  kg auf  $125 \pm 35$  um  $1 \pm 12$  kg.

### **Gleichgewichtsparameter**

Sowohl in der BBS als auch im OLS konnten keine signifikanten Ergebnisse registriert werden.

Die Daten sind der Tabelle 19 zu entnehmen.

**TABELLE 19: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE DER GLEICHGEWICHTSPARAMETER OLS UND BBS IN DER CTG**

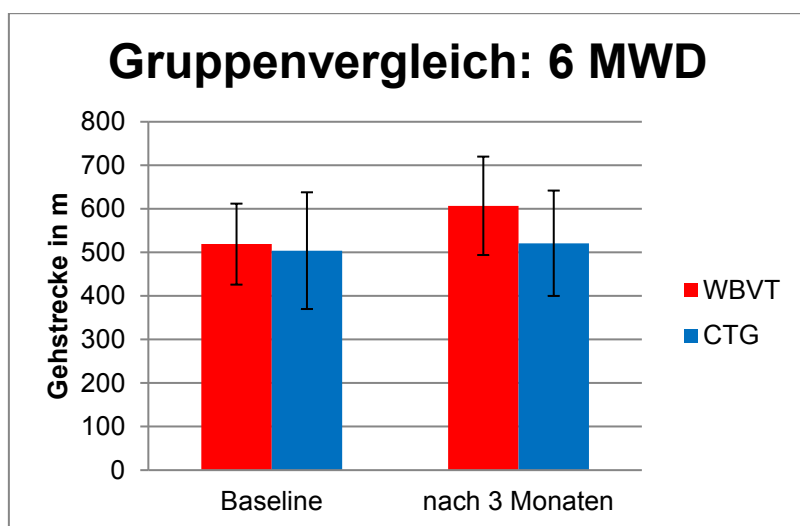
|                                    | <b>CTG<br/>Baseline</b> | <b>CTG<br/>3 Monate</b> | <b>Delta</b>       | <b>p-Wert</b> |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|---------------|
| <b>One leg<br/>stance</b><br>[sec] | $4,9 \pm$<br>4,2        | $4,9 \pm$<br>3,7        | $- 0,1 \pm$<br>4,8 | 0,861         |
| <b>BBS</b><br>[Punkte]             | $48,2 \pm$<br>6,7       | $49,2 \pm$<br>5,6       | $1,0 \pm$<br>2,9   | 0,219         |

### 4.3. INTER- GRUPPENVERGLEICH

Beim Vergleich der beiden Gruppen untereinander traten folgende Ergebnisse auf:

#### 6MWD

In der Abschlussmessung betrug die Gehstrecke im Gehtest in der WBVT  $607 \pm 113$  m. In der CTG lag sie bei  $521 \pm 121$  m (siehe Abbildung 15, Gruppenvergleich: 6MWD nach 3 Monaten).



**ABBILDUNG 15: GRUPPENVERGLEICH DER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN IN DER WBVT UND CTG VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL (P = 0,001)**

Die Zunahme der Gehstrecke im 6MWD nach Ablauf der Trainingsphase war in der WBVT-Gruppe signifikant höher als in der CTG.

Die Zunahme der Strecke betrug in der WBVT  $88 \pm 51$  m, in der CTG waren es nur  $17 \pm 35$  m. Der p-Wert lag bei 0,001.

(WBVT:  $\Delta = 88 \pm 51$  m, CTG:  $\Delta = 17 \pm 35$  m)

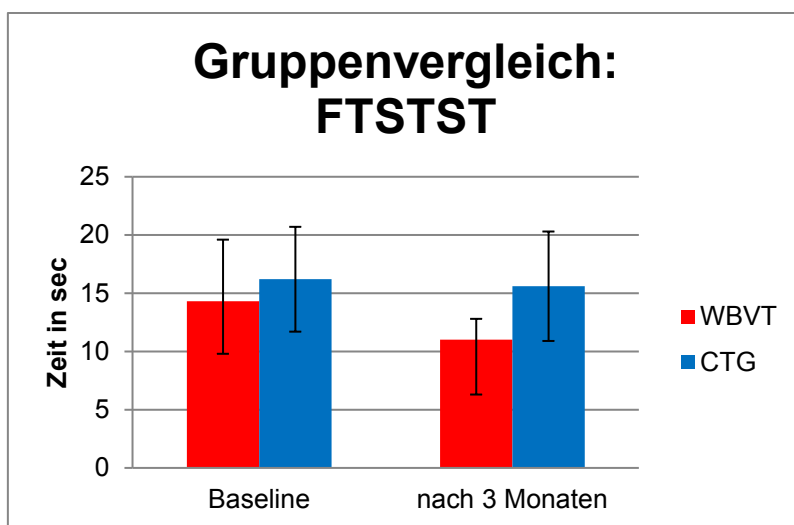
Auch die Veränderungen des 6MWT%pred. verhielten sich ähnlich. Die Veränderung des Werts über die Zeit lag in der WBVT-Gruppe bei 21, in der CTG bei 5. Auch hier betrug der p-Wert 0,001.

## FTSTST

Die Abnahme der Zeitdauer im FTSTST bei der Abschlussmessung war in der WBVT-Gruppe signifikant höher als in der CTG, was der p-Wert von 0,008 beweist.

In der WBVT-Gruppe kam es zu einer Abnahme der benötigten Zeit um  $3,3 \pm 3,9$  Sekunden.

Die Abnahme der Zeitdauer in der CTG lag nur bei  $0,6 \pm 4,7$  Sekunden (siehe Abbildung 16).

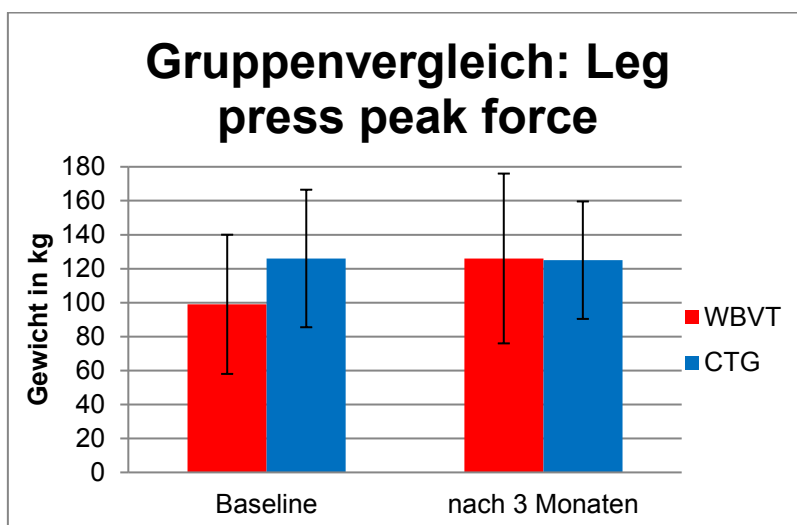


**ABBILDUNG 16: GRUPPENVERGLEICH DER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN IN DER WBVT UND CTG VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL (P = 0,008)**

## Maximalkraft der unteren Extremitäten (Leg Press Peak Force)

Auch konnte im Gruppenvergleich eine Signifikanz für die Leg Press Peak Force registriert werden. Das gestemte Gewicht hatte in der Abschlussmessung in der WBVT-Gruppe um  $27 \pm 15$  kg zugenommen, in der CTG hingegen um  $1 \pm 12$  kg abgenommen.

Der p-Wert betrug  $< 0,001$  (siehe Abbildung 17).



**ABBILDUNG 17: GRUPPENVERGLEICH DER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN IN DER WBVT UND CTG VOR UND NACH DEM TRAININGSINTERVALL ( $P < 0,001$ )**



## Lebensqualität

Zur Ermittlung der Lebensqualität der Probanden wurden der Saint George Respiratory Questionnaire (SGRQ) sowie der COPD Assessment Test (CAT) durchgeführt.

### SGRQ

Im Inter- und Intragruppen-Vergleich gab es keine statistisch signifikanten Veränderungen der Punktwerte im SGRQ. Allerdings gab es nennenswerte Tendenzen in der WBVT, die eine Abnahme der Punktwerte nach der Trainingsintervention andeuteten. Diese Tendenzen fanden sich sowohl in allen Einzelkomponenten „symptoms“, „activity“ und „impact“ als auch im Gesamtpunktwert „total“.

Auch in der CTG konnten entsprechende Tendenzen zur Abnahme der SGRQ-Punktwerte vermerkt werden.

Die genauen Daten sind Tabelle 20 zu entnehmen.

**TABELLE 20: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE IN WBVT UND CTG FÜR DIE EINZELNEN KATEGORIEN DES SGRQ**

|                          | WBVT<br>Base-<br>line | WBVT<br>3<br>Monate | Delta   | p-<br>Wert | CTG<br>Base-<br>line | CTG<br>3<br>Monate | Delta   | p-<br>Wert | Inter-<br>gruppen<br>p-Wert |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|---------|------------|----------------------|--------------------|---------|------------|-----------------------------|
| SGRQ                     | 49,3 ±                | 47,7 ±              | - 1,6 ± | 0,36       | 45,7 ±               | 49,1 ±             | 3,5 ±   | 0,285      | 0,100                       |
| <i>symptoms</i><br>[pts] | 25,3                  | 24,2                | 7,9     | 3          | 22,8                 | 196                | 8,8     |            |                             |
| SGRQ                     | 50,6 ±                | 46,5 ±              | - 4,1 ± | 0,13       | 61,1 ±               | 59,0 ±             | - 2,1 ± | 0,575      | 0,655                       |
| <i>activity</i><br>[pts] | 24,9                  | 24,0                | 9,2     | 9          | 21,1                 | 20,5               | 7,4     |            |                             |
| SGRQ                     | 26,4 ±                | 22,5 ±              | - 3,9 ± | 0,27       | 29,5 ±               | 27,8 ±             | -1,7 ±  | 0,790      | 0,520                       |
| <i>impact</i><br>[pts]   | 18,8                  | 19,0                | 13,9    | 2          | 22,2                 | 19,1               | 8,8     |            |                             |
| SGRQ                     | 37,6 ±                | 33,2 ±              | - 4,4 ± | 0,08       | 41,2 ±               | 40,8 ±             | - 0,4 ± | 0,308      | 0,111                       |
| <i>total</i> [pts]       | 20,2                  | 18,7                | 9,1     | 4          | 19,7                 | 16,7               | 7,4     |            |                             |

## CAT

Bei den Intragruppen-Vergleichen der WBVT und CTG gab es keine signifikanten Veränderungen des CAT-Punktwertes.

Im Intergruppen-Vergleich hingegen, wurde eine statistische Signifikanz zu Gunsten der CTG registriert.

Der p-Wert lag bei 0,024. (WBVT:  $\Delta = 1,3 \pm 3,2$  Punkte, CTG:  $\Delta = -0,9 \pm 2,9$  Punkte)

Die genauen Daten zu den Ergebnissen des CAT sind in der folgenden Tabelle 21 dargestellt.

**TABELLE 21: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE IN WBVT UND CTG FÜR DEN CAT**

|              | <i>WBVT<br/>Base-<br/>line</i> | <i>WBVT<br/>3<br/>Monate</i> | <i>Delta</i> | <i>p-<br/>Wert</i> | <i>CTG<br/>Base-<br/>line</i> | <i>CTG<br/>3<br/>Monate</i> | <i>Delta</i> | <i>p-<br/>Wert</i> | <i>Inter-<br/>gruppen<br/>p-Wert</i> |
|--------------|--------------------------------|------------------------------|--------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------------|
| <i>CAT</i>   | 16,1 ±                         | 17,4 ±                       | 1,3 ±        | 0,14               | 16,2 ±                        | 15,2 ±                      | - 0,9 ±      | 0,38               | 0,024                                |
| <i>[pts]</i> | 7,7                            | 8,0                          | 3,2          | 1                  | 6,7                           | 6,1                         | 2,9          | 4                  |                                      |

## Sonographische Muskelplanometrie

Eine statistisch signifikante Veränderung in der Muskelplanometrie der Muskeln M. rectus femoris als auch M. intermedius ist sowohl im Intra-Gruppenvergleich als auch im Inter-Gruppenvergleich lag nicht vor.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der folgenden Tabelle 22.

**TABELLE 22: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND P-WERTE IN WBVT UND CTG FÜR DIE SONOGRAFISCH ERMITTELTEN MUSKELDURCHMESSER DES M.RECTUS FEMORIS UND M. INTERMEDIUS**

|   | <i>WBVT<br/>Base-<br/>line</i> | <i>WBVT<br/>3<br/>Monate</i> | <i>Delta</i> | <i>p-<br/>Wert</i> | <i>CTG<br/>Base-<br/>line</i> | <i>CTG<br/>3<br/>Monate</i> | <i>Delta</i> | <i>p-<br/>Wert</i> | <i>Inter-<br/>gruppen<br/>p-Wert</i> |
|---|--------------------------------|------------------------------|--------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------------|
| <i>M.<br/>Rectus<br/>femoris<br/>[cm<sup>2</sup>]</i> | 5,6 ±<br>2,2                   | 6,8 ±<br>3,0                 | 1,3 ±<br>2,7 | 0,11<br>6          | 6,5 ±<br>1,6                  | 6,8 ±<br>2,5                | 0,3 ±<br>1,2 | 0,46<br>3          | 0,369                                |
| <i>M.<br/>Interme-<br/>dius<br/>[cm<sup>2</sup>]</i>  | 6,8 ±<br>2,6                   | 7,6 ±<br>2,7                 | 0,6 ±<br>1,5 | 0,13<br>3          | 7,4 ±<br>2,6                  | 8,6 ±<br>2,5                | 1,2 ±<br>2,4 | 0,08<br>7          | 0,473                                |

## 5. DISKUSSION

In der vorliegenden randomisierten klinischen Studie wurden die Auswirkungen eines Ganzkörpervibrationstrainings im ambulanten Setting auf COPD-Patienten untersucht und mit einer Kontrollgruppe verglichen, die ein konventionelles Lungensporttraining absolvierte. Ziel war es vor allem, Änderungen der körperlichen Leistungsfähigkeit, der Maximalkraft der unteren Extremitäten, des Gleichgewichts und der Lebensqualität näher zu betrachten.

Nach dem dreimonatigen Trainingsintervall nahm die Leistungsfähigkeit von COPD-Patienten, die das Ganzkörpervibrationstraining absolviert hatten, signifikant zu. Im 6MWD stieg die Gehstrecke um  $88 \pm 51$  m ( $p = 0,001$ ) an, im FTSTST waren die Probanden  $3,3 \pm 3,9$  Sek schneller ( $p = 0,001$ ) als in der Einschussmessung, die Leg press peak force stieg um  $27 \pm 15$  kg ( $p = 0,001$ ) an und auch das Gleichgewicht anhand der BBS hatte sich um  $2,1 \pm 3,4$  Punkte verbessert ( $p = 0,05$ ). Im Vergleich zur Kontrollgruppe waren die Probanden der WBVT in den Abschlussmessungen im 6MWD ( $p = 0,001$ ), FTSTST ( $p = 0,008$ ) und Legpress peak force ( $p < 0,001$ ) signifikant besser.

Die Arbeit bestätigt Ergebnisse bereits publizierter Studien, die den Benefit des Ganzkörpervibrationstrainings für COPD-Patienten schon in verschiedenen Settings nachweisen konnten.

### 5.1. ANTHROPOMETRIE UND PROBANDENKOLLEKTIV

Nach der Randomisierung war das Probandenkollektiv auf zwei nahezu homogene Gruppen verteilt. Durch das Ausscheiden jeweils eines Teilnehmers aus beiden Gruppen veränderte sich im Verlauf des Trainingsintervalls nichts an der Gruppenverteilung. Somit war ein valider Vergleich der beiden durchgeführten Trainingsinterventionen möglich.

Unter den Probanden waren die COPD-Schweregrade I - III vertreten. Patienten mit COPD-Schweregrad IV waren von einer Teilnahme an der Studie ausgeschlossen. Dies hatte den Zweck zu verhindern, dass es zu vermehrten Studienabbrüchen kommt.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen anderer Arbeiten [133, 134] konnten wir in unserer Studie eine sehr niedrige Abbruchquote feststellen.

Trotz des hochintensiven Trainings beendeten 27 von 29 eingeschlossenen Probanden die Studie.

Insgesamt trainierte die WBVT-Gruppe effektiv nur 30 Minuten pro Woche. Offensichtlich scheint diese niedrige Trainingsfrequenz von zweimal pro Woche á 15 Minuten nicht nur einen hohen Trainingsgewinn zu erzielen, es zeigte sich, zumindest kurz- bis mittelfristig, eine hohe Trainingsakzeptanz. In vergangenen Studien konnte wiederholt festgestellt werden, dass es in Lungenrehabilitationsstudien mit COPD-Patienten umso häufiger zu Studienabbrüchen kam je schlechter die Lungenfunktionsparameter waren und je häufiger die Patienten an Exazerbationen gelitten hatten [135, 136].

Im Rahmen ihrer Studie machten Selzer et al. darauf aufmerksam, dass eine niedrige Lebensqualität unter COPD-Patienten zu hohen Abbruchquoten in Lungenrehabilitationsprogrammen (PR) führt. Verglichen mit den Studienabbrechern waren die Probanden, die die PR zu Ende führten, im Schnitt jünger, rauchten zur Zeit der Studie nicht und wiesen höhere FEV1-Werte auf [137].

Es fällt auf, dass zu den häufigsten Komorbiditäten der COPD-Patienten beider Gruppen kardiovaskuläre Erkrankungen gehören. Dies stellt eine typische Verteilung dar, da COPD-Patienten im Vergleich zur gesunden Bevölkerung ein stark erhöhtes kardiovaskuläres Risiko haben [57, 138].

## *5.2. KÖRPERLICHE LEISTUNGSFÄHIGKEIT*

### *5.2.1. 6-MINUTEN-GEHTEST*

Der 6MWD wurde eingesetzt, um zu überprüfen, ob im Verlauf des 3-monatigen Trainings auf der Galileo®-Vibrationsplatte eine Veränderung der Gehstrecke erzielt werden konnte.

Zu Beginn des Untersuchungszeitraums lag die Gehstrecke in der WBVT-Gruppe bei durchschnittlich 519 m. Nach Abschluss des Trainings war die durchschnittliche Gehstrecke auf 607 m angestiegen. Die Veränderungen in der WBVT-Gruppe waren nicht nur statistisch signifikant ( $p = 0,001$ ), sondern überschritten auch die Werte der „minimal clinically important difference“ (MCID). Diese ist definiert als die kleinste Änderung eines messbaren klinischen Parameters, die sich positiv oder negativ auf den Patienten auswirkt [40] und liegt für die Erkrankung COPD laut Puhan et al. bei 26 m [41].

Spruit et al. haben im Rahmen ihrer Messungen einen Wert von 30 m für die MCID ermittelt [32]. Mit einem Anstieg der Gehstrecke um 88 m in der WBVT-Gruppe wurde die MCID deutlich überschritten. Aus den signifikanten Ergebnissen des 6MWD in der vorliegenden Studie kann geschlossen werden, dass das Ganzkörpervibrationstraining zu einer deutlichen Zunahme der Gehstrecke geführt hat.

Eine signifikante Zunahme in der CTG trat nicht auf. Die Gehstrecke war nach dem Trainingsintervall von durchschnittlich 504 m auf 521 m angestiegen ( $p = 0,1$ ). Mit 17 m war diese Zunahme im Vergleich zur WBVT-Gruppe wesentlich geringer und erzielte keine statistische Signifikanz.

Unsere Ergebnisse bestätigen die Resultate von Pleguezuelos et al. [134], die ebenfalls den Einfluss von WBVT auf die Gehstrecke im 6MWD untersuchten.

In dieser Studie wurden 60 Männer mit einer diagnostizierten COPD in eine WBVT-Gruppe und eine Kontrollgruppe randomisiert. Während die WBVT-Teilnehmer dreimal wöchentlich über 6 Wochen trainierten, erhielten Probanden in der Kontrollgruppe keine Intervention. Am Ende der Beobachtungszeit hatte sich die Gehstrecke im 6MWD um  $81 \pm 9$  m erhöht, was ein ähnlich hohes Ergebnis darstellt.

Das Setting ist allerdings nur bedingt vergleichbar, da die Probanden von Pleguezuelos et al. mit einem vertikalen Vibrationssystem trainierten und von Anfang an mit einer hohen Frequenz von 35 Hertz. Außerdem ist unklar, inwiefern die Wirkmechanismen der vertikalen Vibrationsplatte mit seitenalternierenden Vibrationssystemen wie dem Galileo® vergleichbar sind. Im Vergleich zu unserer Studie war das Trainingsintervall nur halb so lang, wobei pro Woche drei Trainingstermine einzuhalten waren. Bei der Standposition handelte es sich in beiden Fällen um eine statische Position - eine leichte Kniebeuge.

Auch Glöckl et al. [39] beschäftigten sich in der Vergangenheit mit dem WBVT und wandten es als zusätzliche Trainingsmodalität neben einer dreiwöchigen pneumologischen Rehabilitation (PR) an. Das Studienkollektiv umfasste 82 Patienten mit schwerer COPD. Diese wurden in eine WBVT-Gruppe und eine Kontrollgruppe randomisiert. Die WBVTG absolvierte neben der PR (5 Tage/Woche, 60 Minuten/Termin) kurze dynamischer Kniebeugen auf einer Galileo®-Vibrationsplattform (3 x 3 Minuten) an drei der fünf wöchentlichen Termine. Die Frequenz lag zwischen 24 bis 26 Hertz.

Die Kontrollgruppe führte die gleiche Anzahl an dynamischen Kniebeugen auf dem Boden durch, ohne am WBVT teilzunehmen. In beiden Gruppen kam es zum Anstieg der Gehstrecke im 6MWD. In der WBVTG war der Anstieg allerdings signifikant höher als in der Kontrollgruppe und betrug  $64 \pm 59$  m.

Greulich et al. [38] wählten als Studienkollektiv 49 COPD-Patienten während einer akuten Exazerbation und untersuchten ebenfalls die Auswirkung des WBVT auf die Gehstrecke im 6MWD im Rahmen der akuten Exazerbation.

Während des stationären Aufenthaltes erhielten die Probanden der WBVT-Gruppe an 9 Tagen tägliche WBVT-Einheiten auf der Galileo®-Vibrationsplatte (3x2 Minuten) und eine tägliche Physiotherapie. Die Kontrollgruppe erhielt über diesen Zeitraum nur die tägliche Physiotherapie, die aus Atemübungen und Mobilisierung bestand. Am Ende der 9-tägigen Beobachtungszeit hatte die Gehstrecke in der WBVT-Gruppe um 96 m zugenommen.

Auch dieses Ergebnis verweist auf die Wirksamkeit des WBVT. In beide Studien wurden COPD-Patienten eingeschlossen und es wurde das gleiche Vibrationssystem genutzt. Im Vergleich zu unserer Studie trainierten die Probanden von Greulich et al. durchgehend mit einer Frequenz von 26 Hertz. Es erscheint in dieser Situation allerdings sinnvoll, dass die Frequenz direkt hoch eingestellt wurde, da das Trainingsintervall an den Krankenhausaufenthalt gebunden war. Es wird deutlich, dass das WBVT auch in einem sehr kurzen Anwendungszeitraum zu einem hohen Anstieg der Gehstrecke führen kann.

Dass Greulich et al. das WBVT erfolgreich an COPD-Patienten während einer akuten Exazerbation anwenden konnten, zeigt zusätzlich diese Trainingsform tolerabel und frei von unerwünschten Nebenwirkungen ist [38].

In der aktuellen Literatur sind Gehstreckenänderungen im 6MWD von 35 m bei Salhi et al. [37], bis 81 m bei Pleguezuelos et al. [134] nach Ganzkörpervibrationstraining für COPD-Patienten angegeben. Sowohl unser Ergebnis als auch bisherige Resultate bestätigen, dass WBVT zu einem Anstieg der Gehstrecke im 6MWD führt. Die Hypothese, dass WBVT einen positiven Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit von COPD-Patienten hat, wird somit bekräftigt.

### 5.2.2. FIVE-TIMES-SIT-TO-STAND-TEST

Die Ergebnisse des FTSTST zeigen ein ähnliches Bild wie die Resultate des 6MWD und bestätigen den positiven Effekt des WBVT. Auch sie sind nicht nur statistisch, sondern klinisch relevant, da die MCID für den FTSTST bei COPD-Patienten (1,7 Sekunden) erreicht und sogar überschritten wird.

Die Zeit zur Ausübung des Tests reduzierte sich von durchschnittlich 14 Sekunden auf 11 Sekunden in der WBVT-Gruppe. In der Kontrollgruppe wurden keine signifikanten Ergebnisse erzielt.

In der bereits erwähnten Studie von Gloeckl et al. [39] wurden ähnliche Ergebnisse erfasst. Nach der Durchführung eines mit WBVT kombinierten dreiwöchigen Krafttrainings bei COPD-Patienten wurde eine um 4 Sekunden verringerte Zeitdauer bei der Ausführung des FTSTST beobachtet.

Furness et al. [139] ließ im Zuge einer nicht-randomisierten Cross-Over Studie 16 COPD-Patienten 6 Wochen lang zu Hause auf einer seitenalternierenden Vibrationsplatte trainieren. Die Trainingsfrequenz lag durchgehend bei 25 Hertz. Bei der Standposition handelte es sich um eine statische Kniebeuge.

Nach Ablauf der 6 Wochen hatte sich die Zeit zur Ausübung des FTSTST signifikant verkürzt und war von  $18,5 \pm 3,4$  Sekunden auf  $15,1 \pm 2,4$  Sekunden gesunken. Zusätzlich erweiterten Furness et al. ihre Studie um eine anschließende zweiwöchige Wash-Out Phase und ein darauffolgendes 6-wöchiges Schein- („sham“) WBVT mit einer Vibrationsamplitude von 0.

In den daran anschließenden Messungen konnten keine zusätzlichen Veränderungen der FTSTST-Zeit gemessen werden. Dieses Ergebnis schließt einen Placeboeffekt des WBVT aus und bestätigt unsere positiven Resultate im FTSTST.

In unserer Studie wandten wir sowohl den 6MWD als auch den FTSTST an, um die ähnlichen Auswirkungen des WBVT auf unterschiedliche Testverfahren aufzuzeigen. In der WBVT-Gruppe kam es sowohl im 6MWD als auch im FTSTST zu signifikanten Verbesserungen.



Neben Ozalevli et al. [50] verglichen auch Meriem et al. [49] bei COPD-Patienten den STST mit dem 6MWD und stellten eine hohe Korrelation zwischen beiden Testverfahren fest. Es lässt sich daraus schließen, dass der STST einen ähnlich aussagekräftigen Parameter zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit darstellt wie der 6MWD. In unserer Arbeit wird dieses Verhältnis ersichtlich. Beide Tests verweisen unabhängig voneinander auf eine deutliche Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit der Probanden der WBVT-Gruppe.

Auch in anderen Arbeiten, in denen sowohl der 6MWD als auch ein STST angewandt wurden, um die Auswirkungen eines WBVT auf COPD-Patienten zu betrachten, manifestierte sich diese Korrelation [39][39][39]<sup>39</sup>(39)(39)(Gloeckl et al., 2012) (Gloeckl, Heinzelmann, et al.) [37, 38, 39, 44, 45, 46, 64, 81].

Im Weiteren konnten die Ergebnisse des FTSTST genutzt werden, um Aussagen zur Gleichgewichtsfähigkeit der Probanden zu treffen (siehe Kapitel 5.2.3. Gleichgewicht).

### 5.2.3. GLEICHGEWICHT

Zur Beurteilung des Gleichgewichts der COPD-Patienten wurden BBS, OLS und ein weiteres Mal der FTSTST herangezogen.

Nach Ablauf des Trainingsintervalls verbesserte sich das Gleichgewicht der Probanden der WBVT-Gruppe. Im FTSTST kam es zu signifikanten Verbesserungen der Werte (s. Kapitel 4.2.2. FTSTST). Auch in der BBS kam es zur signifikanten Zunahme der Punktezahl um zwei Punkte von durchschnittlich 51,9 auf 53,9 Punkte ( $p = 0,05$ ). Im OLS traten zwar keine signifikanten Änderungen auf, dennoch waren positive Tendenzen erkennbar, die laut diesem Parameter ebenfalls auf eine Verbesserung des Gleichgewichts hinweisen. Die Standzeit auf einem Bein nahm in der WBVT-Gruppe um durchschnittlich 1,9 Sekunden zu und stieg von durchschnittlich 10,7 Sekunden auf 12,6 Sekunden an. Die tendenzielle Verbesserung des OLS in unserer Studie lässt vermuten, dass ein längeres Training auf der Vibrationsplatte signifikante Resultate bewirken könnte.

Bisher hat es keine Studien gegeben, die die Auswirkung eines Ganzkörpervibrationstrainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit von COPD-Patienten untersucht haben. In unserer Studie wurde dieser Aspekt erstmals mitbetrachtet.

Literatur, die sich mit den Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings auf das Gleichgewicht anderer Probandengruppen beschäftigt, gibt es hingegen durchaus.

Lee et al. [140] betrachteten Auswirkungen von WBVT auf das Gleichgewicht älterer Patienten mit diabetischer Neuropathie. Es wurden 55 Patienten (> 65 Jahre) in die Studie eingeschlossen, die auf 3 Gruppen randomisiert wurden. Neben einer Kontrollgruppe, die keine Intervention erhielt, gab es eine Gruppe, die ein Gleichgewichtstraining (GT) (zweimal wöchentlich je 60 Minuten) durchführte und eine weitere, die zusätzlich zum Gleichgewichtstraining das WBVT (dreimal wöchentlich 3 x 3 Minuten) absolvierte. Wie in unserer Studie wurden dabei OLS, BBS und FTSTST als Gleichgewichtsparameter verwendet.

Im OLS erhöhte sich die Standzeit signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe und zur GT-Gruppe. Allerdings erhöhten sich die OLS-Werte in der GT-Gruppe ebenfalls signifikant bezogen auf die Kontrollgruppe.

Auch in der BBS gab es signifikante Verbesserungen in der WBVT-Gruppe. Die Zeitdauer zur Ausführung des FTSTST verringerte sich in der WBVT-Gruppe um 22 %, in der GT-Gruppe um 17 %.

Die Ergebnisse der Studie von Lee et al. bestätigen unsere Daten. Die Resultate im OLS waren bei Lee et al. aussagekräftiger, da der Anstieg der Standzeit signifikant war, während in unserer Studie nur eine positive Tendenz registriert werden konnte. Dieser Sachverhalt kann durch die unterschiedlichen Trainingssituationen erklärt werden. Während die Probanden unserer Studie nur das WBVT durchführten, absolvierten die Probanden der oben beschriebenen Studie neben dem WBVT auch ein ausgedehntes Gleichgewichtstraining, bestehend aus dynamischen und statischen Übungen, die unter anderem die wiederholte Ausführung des OLS umfassten. Durch das regelmäßige Wiederholen des OLS über das gesamte Trainingsintervall kann ein enormer Lerneffekt aufgetreten sein, der die signifikante Verbesserung in der Abschlussmessung bewirkt hat.

Hinsichtlich des WBVT fallen in beiden Studien Ähnlichkeiten auf. Alle Probanden nahmen eine statische Kniebeuge (ca. 110° / 120° - 130°) ein, die Trainingsfrequenz wurde im Verlauf von 15 Hz auf ca. 30 Hz gesteigert und die Einheiten dauerten 3 x 3 Minuten mit einminütigen Pausen dazwischen.

Ein Unterschied lag darin, dass die Probanden von Lee et al. festes Schuhwerk auf der Vibrationsplatte trugen. Außerdem lag das Studienintervall von Lee et al. bei 6 Wochen.

Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, dass die unterschiedlichen Patientenkollektive schlecht vergleichbar sind. Zwar leiden beide Patientengruppen an chronischen Erkrankungen, dennoch sind die Krankheitsprofile von COPD und diabetischer Neuropathie sehr unterschiedlich. Auch Kawanabe et al. [131] befassten sich mit den Auswirkungen von WBVT auf das Gleichgewicht älterer Menschen. Das Probandenkollektiv umfasste 67 Personen mit einem durchschnittlichen Alter von 72 Jahren ohne näher beschriebene Erkrankungen. Ohne Randomisierung erfolgte eine Aufteilung der Probanden auf zwei Gruppen je nach Präferenz der Probanden.

Die erste Gruppe führte ein Routinetraining durch, welches aus Gleichgewichtstraining (OLS, Tandemstand), Kraft- und Gehtraining bestand, während die zweite Gruppe neben demselben Routinetraining das WBVT absolvierte.

Ähnlich wie bei Lee et al. kam es in der Abschlussmessung zur signifikanten Verbesserung im OLS. Es kam zu signifikanten Verbesserungen der Gleichgewichtparameter. Zwar werden unsere Resultate hiermit ein weiteres Mal gestützt, dennoch muss erwähnt werden, dass auch bei Kawanabe et al. während des gesamten zweimonatigen Trainingsintervalls Gleichgewichtstraining praktiziert wurde. Die Ergebnisse fallen vermutlich aus diesem Grund deutlich besser aus als in unserer Studie.

Sowohl bei Lee et al. [140] als auch bei Kawanabe et al. [131] absolvierten die Probanden der WBVT-Gruppen zusätzlich ein Gleichgewichtstraining. Dies erschwert eine eindeutige Zuordnung der verbesserten Parameter zum WBVT, da diese Verbesserungen auch zu großen Teilen durch das separate Gleichgewichtstraining verursacht werden konnten. Das Setting unserer Studie ist in dieser Hinsicht sinnvoller, da die Probanden neben dem WBVT keine anderen Übungen und Trainings ausgeführt haben.

So können alle Veränderungen der Parameter direkt auf das WBVT zurückgeführt werden. Ein Lerneffekt für den OLS, wie bei Lee und Kawanabe kann in unserer Studie zumindest nicht im gleichen Ausmaß vorgelegen haben, da dieser nur während der Ein- und Abschlussmessung durchgeführt wurde und somit 12 Wochen zwischen den Ausführungen des Tests gelegen haben.

Die in diesem Teil der Untersuchung gefundenen Zusammenhänge zwischen dem WBVT und der Verbesserung gleich mehrerer Gleichgewichtsparameter geben Hinweise darauf, dass bereits kurze Trainingszeiten mit der Vibrationsplatte zu maßgeblichen Verbesserungen des Gleichgewichts führen.

Alle oben besprochenen Studien - einschließlich unserer - wurden an älteren Probanden, zum Teil mit chronischen Erkrankungen (COPD, diabetische Neuropathie) über ähnliche Zeiträume durchgeführt. Auf Basis unserer und der publizierten Daten kann angenommen werden, dass Ganzkörpervibrationstraining zur Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit führt [97, 100, 130, 131, 140, 141].

#### *5.2.4. MUSKELKRAFT*

In der vorliegenden Studie wurde die maximale Muskelkraft der Beine an der Beinpresse ermittelt (legpress peak force).

Nach Abschluss des dreimonatigen Ganzkörpervibrationstrainings konnte eine signifikante Zunahme der Maximalkraft in der WBVT-Gruppe um durchschnittlich 27 kg gemessen werden. Im Verlauf des WBVT-Trainings war sie von durchschnittlich 99 kg auf 126 kg angestiegen. Im Hinblick auf dieses eindeutige Ergebnis kann man von einer positiven Beeinflussung durch das WBVT sprechen. In der CTG hat es keine signifikante Änderung gegeben. Die durchschnittliche Kraft lag vor der Intervention bei 126 kg, danach bei 125 kg. Somit hatte sogar eine Abnahme von 1 kg stattgefunden.

Dass WBVT in verschiedenen Probandenkollektiven einen Anstieg der Muskelkraft bewirkt, konnte in Studien schon häufig belegt werden.

Verschueren et al. [142] untersuchte dieses Phänomen bei 70 postmenopausalen Frauen. Nach einem 24-wöchigen WBVT hatte sich die dynamische und isometrische Muskelkraft der WBVT-Probandinnen im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant verbessert.

Bei Frequenzen von 35 bis 40 Hertz wurden auf der „Power Plate“ (vertikales System) statische und dynamische Übungen der Knieextension ausgeführt.

Dieses Ergebnis unterstützt die Resultate unserer Studie. Es sollte erwähnt werden, dass es neben der WBVT- und Kontrollgruppe eine Krafttrainingsgruppe gab. Bei den Frauen aus dieser Gruppe wurden ähnlich hohe Anstiege der statischen und dynamischen Muskelkraft gemessen. Auch Boeselt et al. führten eine Trainingsstudie mit COPD-Patienten durch, die über 6 Monate zweimal wöchentlich ein intensives individualisiertes (Kraft-)Training mit Gewichten absolvierten. Jede Trainingseinheit dauerte 90 min. Nach Ablauf des Trainingsintervalls hatte sich die Leistungsfähigkeit (6MWD) und Lebensqualität (SGRQ) verbessert und ein Muskelzuwachs (Muskelsonographie des M. rectus femoris) hatte stattgefunden [84].

Diese Vergleichsmöglichkeit macht deutlich, dass ein 30-minütiges WBVT (dreimal wöchentlich inklusive Warm-Up/Cool-Down) zu ähnlichen Resultaten führt wie ein einstündiges Krafttraining (dreimal wöchentlich).

Trotz der guten Resultate ist es schwer, COPD-Patienten zu empfehlen, mehrmals die Woche ein einstündiges Krafttraining durchzuführen aufgrund der verminderten Leistungsfähigkeit, Dyspnoe und zeitlicher Einschränkung [37].

Das WBVT stellt hingegen eine Methode dar, welche mit weniger Anstrengung und Angst seitens der Patienten eine ähnliche positive Auswirkung auf die Muskelkraft der Beine hat.

Auch Machado et al. [143] schloss in seine 10-wöchige Studie ältere Frauen im Alter zwischen 65 und 90 Jahren ohne näher beschriebene Erkrankungen ein. Er untersuchte die Auswirkungen des WBVT auf die Muskelkraft der Patientinnen im Vergleich zu einer interventionsfreien Kontrollgruppe.

Die Trainingsfrequenzen auf der vertikalen Vibrationsplatte „Fitvibe“ lagen bei 20 bis 40 Hertz und es wurden sowohl statische als auch dynamische Übungen ausgeführt.

Die Muskelkraft (legpress peak force) wurde anhand einer horizontalen Beinpresse und einem Kraftmesssensor ermittelt. In der WBVT-Gruppe kam es nach der Intervention zu einem signifikanten Anstieg der Muskelkraft der unteren Extremitäten.

Zwar werden hier nicht explizit COPD-Patienten untersucht, dennoch liegt auch bei den Probandinnen derselben Altersgruppe ein Abbau der Skelettmuskulatur vor. Obwohl dieser durch altersbedingte Degeneration und nicht unter anderem durch die COPD verursacht ist, ist ein Vergleich beider Studien an dieser Stelle sinnvoll.

Studien, die die Auswirkung von WBVT auf die Muskelkraft von COPD-Patienten untersuchen, sind hingegen selten und wiesen bisher keine positiven Ergebnisse auf.

Pleguezuelos et al. [134] konnten in ihrer Studie mit 60 COPD-Patienten keine ähnlich positiven Ergebnisse bezüglich der Muskelkraft beobachten. Ein Anstieg der Muskelkraft der unteren Extremitäten nach einem 6-wöchigen WBVT auf einer vertikalen Vibrationsplatte wurde nicht gemessen. Eine direkte Vergleichbarkeit mit unserer Studie ist allerdings weiterhin schwierig, da die Probanden auf einem vertikalen Vibrationssystem trainierten und nicht auf einer seitenalternierenden Platte, wie dem Galileo®. Weiterhin war der Trainingszeitraum nur halb so lang wie in unserem Fall. Auch die Messung der Muskelkraft erfolgte statt der Beinpresse, mit einem Dynamometer. Dennoch ist es wichtig, diese Studie zum Vergleich heranzuziehen, da Pleguezuelos et al. ebenfalls COPD-Patienten betrachtet haben.

Sahli et al. [37] stellten sich ebenfalls die Frage nach einem Muskelkraftzuwachs durch das WBVT. 26 COPD-Patienten führten auf der Vibrationsplatte mehrere Standpositionen aus, darunter eine hohe Kniebeuge, tiefe Kniebeuge, breitbeinige Kniebeuge.

In der Kontrollgruppe absolvierten 25 Patienten ein konventionelles Krafttraining (KT) Nach dem Beobachtungszeitraum von 12 Wochen konnte in beiden Gruppen ähnlich hohe Kraftzuwächse des M. quadriceps femoris (WBVT: 9 Nm, KT: 12 Nm) gemessen werden. Dank dieser Studie wird deutlich, dass ein WBVT ähnlich hohe Anstiege der Muskelkraft der unteren Extremitäten erzeugt, wie ein konventionelles Krafttraining, wobei der Körper beim WBVT weniger Arbeit leisten muss.

Auf Grundlage dieser Erörterung wird deutlich, dass WBVT zu einem Anstieg der Muskelkraft der unteren Extremitäten führt. Für COPD-Patienten mit Muskelatrophie ist dies eine wichtige Erkenntnis.

Es lässt sich der Schluss ziehen, dass regelmäßiges Ganzkörpervibrationstraining die Muskelkraft der unteren Extremitäten erhöht.

### 5.3. MUSKELSONOGRAPHIE

Die sonographische Messung des Muskelquerschnitts der Oberschenkelmuskeln M. rectus femoris und M. vastus intermedius lieferte in beiden Gruppen keine signifikanten Ergebnisse. Tendenzen, die auf einen Muskelzuwachs hinweisen, konnten sowohl in der WBVT als auch in der CTG bei beiden untersuchten Muskeln, registriert werden.

(M. rectus femoris: WBVT:  $\Delta = 1,3 \pm 2,7 \text{ cm}^2$ , CTG:  $\Delta = 0,3 \pm 1,2 \text{ cm}^2$ , M. vastus intermedius: WBVT:  $\Delta = 0,6 \pm 1,5 \text{ cm}^2$ , CTG:  $\Delta = 1,2 \pm 2,4 \text{ cm}^2$ ).

Die Verbesserung der Leistungskapazität, die mithilfe des 6MWD, des FTSTST und der maximalen Muskelkraft erfasst wurde, lässt sich demnach nicht eindeutig durch ein sonographisch messbares Wachstum des Muskels erklären.

Allgemein bekannt ist, dass mechanische Vibrationen in den verschiedenen Geweben des menschlichen Körpers, wie z. B. Knochen-, Muskel-, Haut- oder Nervengewebe, mechanischen Stress verursachen.

Durch unwillkürliche Muskelkontraktionen und durch den Muskel-Dehnungsreflex verursachte Relaxationszyklen reagiert der Körper auf den Stress und schwächt die Vibration ab. Der Benefit des Ganzkörpervibrationstrainings wird statt einer Muskelhypertrophie viel eher Veränderungen auf neurophysiologischer Ebene zugeschrieben [88, 144].

Würde man eine Muskelhypertrophie durch Vibrationstraining erzielen wollen, müssten vermutlich sehr hohe Trainingsintensitäten angewandt werden, um einen ausreichenden Stimulus zu erwirken. Auch wenn die Trainingsfrequenzen im Verlauf unserer Studie bis auf 24 Hz erhöht wurden (in der letzten Trainingsphase), waren diese Frequenzen dennoch nicht hoch genug, um zu einer Muskelhypertrophie zu führen. Möglich ist auch, dass der Zeitraum von ca. 1 Monat, in dem die hohen Trainingsintensitäten angewandt wurden, zu kurz war, um diesen Effekt zu erzielen.

Die Probanden in der WBVT-Gruppe standen während der Zufuhr der Vibrationen in einer Kniebeuge mit einem Winkel von ca.  $140^\circ$  auf der Platte. Sie befanden sich in einer statischen Position, die sie so gut wie möglich hielten.

Das Training wurde demnach ausschließlich mit dem eigenen Körpergewicht durchgeführt. Man kann annehmen, dass die Wirkung auf die Muskelmasse größer gewesen wäre, wenn dynamische Bewegungen (z. B. dynamische Kniebeugen) oder zusätzliche Gewichte für die Trainingssequenzen (z. B. Gewichtsmanschetten) genutzt worden wären.

Zudem muss erwähnt werden, dass diese Untersuchungsmethode stark vom Untersucher abhängt. Zwar wurden alle sonographischen Messungen von einer Person mit demselben Gerät durchgeführt, dennoch muss berücksichtigt werden, dass beim Umfahren des Muskelquerschnitts mit dem Cursor Ungenauigkeiten zu Stande kommen konnten, da es sich nicht um eine maschinelle Durchführung handelte. Ein punktgenaues Umfahren der Fläche war aufgrund der Bildqualität und der Handhabung des Cursors nicht zu jeder Zeit möglich. Die gemessenen Tendenzen müssen im Hinblick auf die genannten Punkte kritisch betrachtet werden. Eine andere Methode, wie z. B. eine CT- oder MRT-gesteuerte Messung des Muskeldurchmessers, wäre durchaus genauer gewesen, allerdings auch viel teurer und aufwendiger [81, 145].

#### *5.4. LUNGENFUNKTION*

Bei Betrachtung der Lungenfunktionsparameter konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Die ursprüngliche FEV1 von 1,4 L/s in der WBVT und 1,7 L/s in der CTG veränderte sich durch die Interventionen nicht. Auch konnte keine subjektive Reduktion der Dyspnoe nach dem 6MWD anhand der BORG-Skala registriert werden.

Wie erwartet, schließen sich unsere Ergebnisse zahlreichen vorangegangenen WBVT-Studien mit COPD-Patienten an, in denen bisher keine signifikanten Verbesserungen der Lungenfunktionsparameter erzielt werden konnten.

Auch in der bereits zitierten Studie von Gloeckl et al. [39] wurden die Auswirkungen des WBVT auf die FEV1 sowie die anderen Lungenfunktions- und Lungengasaustauschparameter beobachtet. Nach Ablauf des Beobachtungszeitraums konnten auch sie keine Veränderungen dieser Parameter feststellen. Eine Erklärung dafür könnte der relativ kurze Beobachtungszeitraum von 12 Wochen (Gloeckl et al.: 3 Wochen) sein.



Eine ausgebliebene Verbesserung der Lungenfunktionsparameter sowohl in unserer als auch in der Arbeit Gloeckl et al. könnte neben der schweren irreversiblen Atemwegsobstruktion das hohe Durchschnittsalter der Probanden gewesen sein, welches unabhängig von Erkrankungen der Lunge mit eingeschränkter Lungenfunktion einhergeht [146].

Zudem ist möglich, dass die Art des angewandten WBVTs zwar unmittelbar die Muskulatur der unteren Extremitäten beeinflusst, jedoch keine Auswirkung auf das Diaphragma und die Atemhilfsmuskulatur hat. Würden diese Muskelgruppen gezielt trainiert werden können, könnten die elastischen Rückstellkräfte der Lunge bei Inspiration besser überwunden werden. Dennoch könnte selbst gezieltes Training die irreversible Zerstörung der Lungenarchitektur nicht vermindern.

Eine weitere Einschränkung ist, dass die Messung der Lungenfunktionsparameter in der Ein- und Abschlussmessung bei allen Patienten am frühen Morgen durchgeführt wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse nur die jeweilige Tagesform wiedergeben und Veränderungen im Tagesverlauf nicht aufdecken [147]. Ein umfangreiches Ausdauertraining könnte vielleicht eher zu Verbesserungen bestimmter Lungenfunktionsparameter führen, als das WBVT [148].

Als positiv kann dennoch herausgestellt werden, dass es über den 12-wöchigen Zeitraum zu keiner Verschlechterung der Lungenfunktionsparameter gekommen ist. Eine irreversible und progrediente Abnahme der Lungenfunktion ist für den Erkrankungsverlauf der COPD typisch. Zu den Zielen der COPD-Therapie gehört somit auch, diesen konstanten Abfall zu verlangsamen oder gar aufzuhalten [1]. Der ausgebliebene Fortschritt der bestehenden Obstruktion bei den Probanden unserer Studie kann somit schon als Erfolg gewertet werden.

## 5.5. *LEBENSQUALITÄT*

Die Auswirkungen des WBVT auf die Lebensqualität der Probanden wurde mit den Fragebögen SGRQ und CAT ermittelt.

### 5.5.1. SGRQ

Unsere Studie ergab bei den Teilnehmern der WBVT-Gruppe tendenzielle Abnahmen der Scores in allen Kategorien des SGRQs. Dies bedeutet, dass die Probanden ihre Rehabilitation durch das WBVT als positiv bewerteten.

In der Kategorie „total“ war der Score von durchschnittlich 37,6 auf 33,2 Punkte gesunken. Der p-Wert lag bei 0,084. Zwar waren diese Abnahmen nicht stark genug, um Signifikanzen der p-Werte zu erzielen, dennoch konnte in den SGRQ-Kategorien „activity“ und „total“ die MCID von - 4 Punkten erreicht werden [52].

Die Abnahme in der Kategorie „activity“ spricht für eine Abnahme der Einschränkungen auf die alltägliche körperliche Aktivität, welche durch Atemwegsbeschwerden hervorgerufen werden.

Die Abnahme in der Kategorie „total“ spricht für eine allgemeine Verbesserung der Lebensqualität, da sie die Scores der Kategorien „symptom“, „activity“, „impact“ summiert [54]. In der CTG konnten ähnliche Tendenzen nicht beobachtet werden. In der Kategorie „total“ sank der Punktwerte von durchschnittlich 41,2 auf 40,8. Der p-Wert lag bei 0,308. Auch wurde in keiner Kategorie die MCID erreicht.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen auch Greulich et al. [38] in einer Studie, in welcher die Lebensqualität von COPD-Patienten ermittelt wurde, die aufgrund von Exazerbationen hospitalisiert waren.

Dabei wurde in einer Gruppe eine Mobilisierung am Krankenbett durch einen Physiotherapeuten durchgeführt, die um ein Ganzkörpervibrationstraining ergänzt war, in der anderen Gruppe wurde nur die Mobilisierung durchgeführt. Das genutzte Messinstrument war ebenfalls der SGRQ, der ausschließlich in der WBVT-Gruppe eine signifikante Verbesserung aufwies.

Beachtet man die körperliche Fitness der Probanden unserer Studie vor der COPD-Diagnose, kann man sich die bloß moderate Veränderung im SGRQ besser erklären.

Keiner der Probanden war vor Erhalt der COPD-Diagnose besonders sportlich oder übermäßig aktiv. Die Zunahme der Leistungsfähigkeit durch das WBVT wurde demnach auch nicht als außerordentlich stark wahrgenommen.

Die signifikanten Ergebnisse des SGRQ von Greulich et al. [38] hingegen entspringen einer anderen Gesamtsituation.

Bei allen Probanden handelte es sich nämlich um hospitalisierte Patienten. Diese waren während des Studienintervalls aufgrund der Exazerbation noch eingeschränkter als sonst.

Die Besserung der Lebensqualität empfanden sie womöglich nicht nur durch das WBVT, sondern auch durch das Abklingen der Exazerbation im Verlauf des Trainingsintervalls.

Auch in der Pilotstudie von Braz Junior et al. wurde nach 12-wöchigem Ganzkörpervibrationstraining im Zuge der SGRQ-Auswertung deutlich, dass sich die Lebensqualität der Probanden deutlich verbessert hatte. In allen vier Kategorien des SGRQs kam es zu Abnahmen der Scores, die zum großen Teil signifikant waren [149].

Was einen direkten Vergleich zu der eigenen Studie erschwert, ist die Tatsache, dass Braz Junior die Power Plate nutze, die ein vertikales Vibrationssystem darstellt. Auch trainierten die Probanden dreimal pro Woche und nicht nur zweimal, wie in unserer Studie.

Ein Grund für die mangelnden signifikanten Ergebnisse im SGRQ in unserer Studie könnte sein, dass die Probanden den Fragebogen nicht suffizient ausgefüllt hatten. Mit 50 Fragen ist der SGRQ sehr umfangreich. Die Konzentration könnte während des Ausfüllens bei manchen Probanden abgenommen haben. Auch könnten die Probanden Fragen zur Bewältigung des Alltags aus Scham bewusst falsch beantwortet haben. Ringbaek et al. kamen zu dem Schluss, dass der SGRQ besonders für Probanden mit niedrigem Bildungsstand eine Herausforderung darstellt und Hilfe zum Ausfüllen nötig ist [150].

Außerdem werden bei der Auswertung des SGRQ fehlende Antworten zu einem „missing-value“-Wert summiert, um die Verfälschung der Ergebnisse zu minimieren. Auch wenn fälschlicherweise mehrere Antwortmöglichkeiten angekreuzt werden, kann ein Mittelwert genutzt werden, um einen genaueren Gesamt-Score zu errechnen [151].

### 5.5.2. CAT

In der vorliegenden Studie konnte nur in der CTG eine signifikante Abnahme des CAT-Scores nach Ablauf der dreimonatigen Trainingszeit beobachtet werden, was in dieser Gruppe für eine Verbesserung der subjektiven Lebensqualität spricht. Bei einem p-Wert von 0,024 lag ein signifikanter Intergruppenvergleich vor.

In der CTG hatte der Punktwert im Test um durchschnittlich 0,9 Punkte abgenommen, während er in der WBVT nach dem Trainingsintervall um durchschnittlich 1,3 Punkte zugenommen hatte.

Dieses Ergebnis trat unerwartet auf, da man angenommen hatte, dass vor allem Probanden der WBVT-Gruppe eine signifikante Verbesserung des CAT-Scores aufweisen würden.

Besonders, nachdem einige Probanden der WBVT-Gruppe während des Trainingsintervalls die Rückmeldung gaben, sich fitter zu fühlen und z. B. die Treppenstufen besser zu bewältigen oder mehr Hausarbeit zu schaffen.

Vermutlich ist der COPD-Assessment Test nicht ausreichend spezifisch, um Änderungen der Leistungskapazität zu detektieren.

Nur zwei von acht Fragen des CAT beziehen sich auf die körperliche Aktivität der Probanden, nämlich *„Wenn ich bergauf oder eine Treppe hinaufgehe, komme ich (nicht) außer Atem“*, sowie *„Ich bin bei meinen häuslichen Aktivitäten (nicht) eingeschränkt“*.

Laut Studienergebnissen korreliert der CAT stark mit der Atemwegsobstruktion [152]. Da anhand der Lungenfunktionsparameter nach dem WBVT keine Verbesserung der Lungenfunktion gemessen werden konnte, ist es naheliegend, dass auch im CAT keine signifikanten Verbesserungen aufgetreten sind [152].

Somit ist der CAT nicht differenziert genug, um nach einem verhältnismäßig kurzen Trainingsintervall Auswirkungen durch die veränderte körperliche Leistungsfähigkeit aufzuzeigen. Die Abnahme der Punktezahl in der CTG zeigt, dass die Probanden durch ein regelmäßiges Lungensporttraining einen Zuwachs der Lebensqualität erfahren haben, auch wenn es keine Verbesserungen der Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit oder Muskelkraft gab. Die MCID von 2 Punkten wurde allerdings nicht erreicht.

## 5.6. DROP-OUTS

Von 29 eingeschlossenen Probanden beendeten 27 die Studie mit der Abschlussmessung. Dies entspricht einer Drop-Out-Rate von 6,9 %. Es handelt sich dabei um einen sehr niedrigen Wert, zumal in bisherigen Studien nach 3-monatigen Trainingsprogrammen mit COPD-Patienten Abbruchraten von 20 bis 50 % vermerkt wurden [153-155].

Gründe für das vorzeitige Beenden der Teilnahme waren mangelnde Motivation als Folge eines Trauerfalls in der Familie sowie eine Operation mit postoperativem Wundschmerz, welcher eine weitere Teilnahme unmöglich machte (n = 1 in WBVT, n = 1 in CTG).

Spielmanns et al. machten im Zuge ihrer WBVT-Studie mit 55 COPD-Patienten eine gegenteilige Erfahrung, da nur 28 Probanden die Studie beendeten. Zu den Gründen gehörten gesundheitliche Probleme und zeitliche Einschränkungen [133].

Die Ursachen für die hohe Compliance in unserer Studie sind vielfältig. Besonders die kurzen Trainingszeiten trugen dazu bei, dass die Teilnehmer ihre Trainingstermine einhielten.

Die Trainingszeiten von 30 Minuten pro Termin ließen sich gut in den Alltag integrieren, insbesondere weil sie zuvor individuell mit jedem Probanden ausgemacht wurden und auf Tage und Uhrzeiten gelegt wurden, die ihnen entgegenkamen.

Selzler et al. gelang die Erkenntnis, dass ein wesentlicher Grund für eine regelmäßige Teilnahme an rehabilitativen Maßnahmen die Selbstwirksamkeitserwartung ist [156]. Die Probanden neigen demnach eher das Training abzuschließen, wenn sie es von sich erwarten und von der Wirksamkeit einer Methode überzeugt sind [157].

Ein weiterer ausschlaggebender Parameter ist die Wegstrecke, die jeder Proband zurücklegen musste, um zum Trainingsort zu gelangen. Da die Teilnehmer vor allem aus dem näheren Umkreis des Remigius Krankenhauses in Opladen kamen, hatten sie in der Regel keine langen Anfahrtszeiten. Auch die Trainingsatmosphäre könnte sich positiv auf die Compliance ausgewirkt haben. Während der Trainingseinheiten befanden sich nie mehr als 3 Probanden im Trainingsraum.

Zudem standen diese immer unter der Aufsicht des Physiotherapeuten, der bei der korrekten Ausführung der Übungen behilflich war und den Probanden ein sicheres Gefühl vermittelte.

Wiederholt kam es vor, dass sich die Probanden positiv über ihr Wohlbefinden nach den Trainingseinheiten äußerten. Eine genannte Auswirkung war zum Beispiel, besseres Abhusten von Schleim am nächsten Morgen. Nach mehreren Wochen des Trainings registrierten manche Teilnehmer eine erhöhte Leistungsfähigkeit beim Steigen der Treppenstufen. Für die meisten Teilnehmer stellte das regelmäßige Training eine willkommene Alltagsstrukturierung dar, so dass sie ihre Termine nicht ausfallen ließen beziehungsweise gerne nachholten. Sportangebote und körperliche Bewegung werden aus Angst vor verstärkter Atemnot oft nicht ausreichend wahrgenommen und ausgeübt.

Entsprechend hoch sind die Drop-Out-Quoten in Studien, in denen Patienten anstrengende Sportarten ausführen sollen [158].

In der vorliegenden Studie war diese Situation nicht gegeben. Das Training auf der Galileo®-Vibrationsplatte war besonders gut für COPD-Patienten geeignet, da sie währenddessen nicht atemnötig wurden. Eine aktive Bewegung des Patienten war nicht erforderlich, um die kurzen Einheiten auf der Vibrationsplatte abzuschließen. Ausschließlich das Einhalten der Standposition war wichtig. Dies führte dazu, dass die Trainingseinheiten nicht als zu anstrengend empfunden wurden und auch nicht angstbesetzt waren.

Auch in anderen Studien wurde die Methode des Ganzkörpervibrationstrainings bereits als besonders schonend hervorgehoben, was sich in unserem Fall ebenfalls bestätigte [38, 149]. Nebenwirkungen wurden von Patienten nicht geschildert. In der Studie von Pleguezuelos et al. äußerten zwei Probanden Knieschmerzen im Rahmen des Vibrationstrainings. Diese waren mit einem anti-inflammatorischen Schmerzmittel therapierbar und es war kein Pausieren des Trainings nötig [134].

All das sind mögliche Gründe für die geringe Drop-Out-Quote.

## 5.7. VIBRATIONSTRAINING

Der Einsatz von WBVT zeigte bereits in einigen Studien mit COPD-Patienten gute rehabilitative Erfolge, vor allem bezüglich der körperlichen Leistungsfähigkeit [38, 39, 134, 144, 149].

Verbesserungen der untersuchten Parameter in dieser Höhe findet man für gewöhnlich in Studien, die viel umfangreichere pneumologische Rehabilitationsprogramme beinhalten [159].

Dazu gehört eine Studie von Xi et al. Sie untersuchten den Langzeiteffekt eines Lungensportprogramms für COPD-Patienten. Diese führten fünfmal wöchentlich zu Hause ein Lungensporttraining durch. Einmal im Monat trainierten sie zusätzlich im ambulanten Setting mit einem Physiotherapeuten. Die Kontrollgruppe wurde im Sinne einer Patientenschulung bei den monatlichen, ambulanten Terminen über die Art der Erkrankung und ihren Verlauf von Physiotherapeuten aufgeklärt. Ein körperliches Training fand nicht statt.

Das Lungensportprogramm der Interventionsgruppe beinhaltete Atemübungen, die zwei- bis dreimal täglich ausgeführt werden sollten, an 5 weiteren Wochentagen wurden bis zu 40 Minuten lang Übungen für die oberen und unteren Extremitäten mit und ohne Gewichten ausgeführt. Es handelte sich somit um ein aufwendiges und umfangreiches Training. Nach einem 12-monatigen Beobachtungszeitraum wurden in der Interventionsgruppe signifikante Verbesserungen im 6MWT (Anstieg der Gehstrecke um 46 m), SGRQ und CAT festgestellt.

Es wurden auch verbesserte Lungenfunktionsparameter gemessen (FEV<sub>1</sub>, FVC, FEV<sub>1</sub>/FVC %), was einen Unterschied zu unserer Studie darstellt.

Unsere Studie zeigt, dass WBVT eine effiziente Alternative gegenüber konventionellen, umfangreichen Lungensportprogrammen darstellt. Insbesondere bezüglich der körperlichen Leistungsfähigkeit und Muskelkraft können mit WBVT Verbesserungen erzielt werden. Mit einem wesentlich geringeren zeitlichen Aufwand konnten im 6MWD schon nach 12 Wochen höhere Anstiege der Gehstrecke erreicht werden. Zu den Vorteilen, der von Xi et al. angewandten Intervention gehört die signifikante Verbesserung der Lungenfunktionsparameter und der Lebensqualität.

Letzteres kann man damit erklären, dass die Probanden durch das sehr häufige, fast alltägliche aber auch anstrengende Training das Gefühl von starker körperlicher Aktivität und Leistung über einen langen Zeitraum gespürt hatten. In einer Studie von Glöckl et al. konnte der Benefit von WBVT für COPD-Patienten ebenfalls deutlich herausgestellt werden. Alle Probanden nahmen an einem dreiwöchigen Lungenrehabilitationsprogramm teil, welches aus Ausdauer- und Krafttraining bestand und an fünf Tagen pro Woche stattfand. Während die in die WBVT-Gruppe randomisierten Probanden zusätzlich an drei der fünf Termine Kniebeugen auf der Galileo®-Vibrationsplatte ausführten, taten die Probanden der Kontrollgruppe dies auf dem Boden. Nach Ablauf des Trainingsintervalls konnten in der WBVT-Gruppe signifikante Verbesserungen im 6MWD und FTSTST gemessen werden. Auch das Gleichgewicht hatte sich nur in der WBVT-Gruppe signifikant verbessert, welches mit dem Leonardo Mechanograph und Tests wie dem OLS geprüft wurde. Die Muskelkraft war nach dem Training in beiden Gruppen signifikant angestiegen, was darauf schließen lässt, dass der Zuwachs nicht explizit auf das WBVT zurückzuführen ist, sondern viel eher auf das allgemeine Kraft- und Ausdauertraining an dem beide Gruppen teilnahmen oder auf die Kniebeuge-Bewegung an sich [144]. Neben unserer Studie zeigt auch diese Arbeit von Glöckl et al., dass WBVT eine gute Möglichkeit ist herkömmliche Lungenrehabilitationsprogramme zu ergänzen, um die positiven Auswirkungen des Trainings zu verstärken.

#### *5.8. LIMITATIONEN*

Die Studie weist erwähnenswerte Limitationen auf.

Bei dieser randomisierten klinischen Studie handelt es sich um eine monozentrische Studie. Obwohl die Anzahl der Studienteilnehmer die a priori ermittelte Fallzahl überschritt, war sie gering. Fraglich ist, ob die Auswahl der teilgenommenen Probanden als repräsentativ für die gesamte COPD-Patientengruppe angesehen werden kann. Um exaktere Aussagen zur Wirksamkeit des Ganzkörpervibrationstrainings auf die Gesamtheit der COPD-Patienten zu treffen, sollte man die Anzahl der Teilnehmer in folgenden Projekten erhöhen.



In der vorliegenden Studie waren Patienten mit COPD-Grad IV von der Teilnahme ausgeschlossen. Um einen besseren Querschnitt durch das gesamte COPD-Patientenkollektiv zu erhalten, könnte diese Patientengruppe in weiterführenden Projekten miteinbezogen werden. Allerdings müsse man sich dann der Schwierigkeit stellen, schwer Erkrankte zu regelmäßigem körperlichem Training zu animieren.

Bezüglich der erhobenen Parameter sind einige Kritikpunkte zu nennen.

Um bei der sonographischen Muskelplanometrie untersucherabhängige Schwankungen der Messwerte zu vermeiden, wurden die Messungen von derselben Person durchgeführt. Dennoch führten diverse Faktoren zu minimalen Messungengenauigkeiten, wie z. B. die Haltung des Schallkopfes in der Hand des Untersuchers, Artefakte bei der Bildverarbeitung oder ungenaue Konturen durch defizitäre Bildqualität.

Bei adipösen Patienten waren das Auffinden und Darstellen der auszumessenden Strukturen zusätzlich erschwert. Mit einer alternativen Methode, z. B. der CT-gesteuerten Planometrie, könnten genauere Werte erzielt werden [81].

Weiterhin waren einige Parameter nicht ausreichend sensitiv.

Eine Vermutung dazu wäre, dass der CAT-Score nicht sensitiv genug ist, um Veränderungen der Lebensqualität nach dem nur 12-wöchigen Vibrationstraining zu detektieren. Auch ist der OLS kein genaues Testverfahren.

Er ist von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. der eingenommenen Standposition, dem Schuhwerk und eventuellen Muskelkrämpfen. Das alles kann zu starken Variationen der Messergebnisse führen.

Die BBS ist zwar ein einfaches Messinstrument, dennoch sollte es nicht kritiklos betrachtet werden. Die Probanden in der WBVTG unserer Studie hatten schon bei der Einschlussmessung einen Durchschnittswert von 52 Punkten von insgesamt 56 möglichen Punkten in der BBS erreicht. Dies spricht dafür, dass das Gleichgewicht dieser Patienten schon vor der WBVT-Intervention stark ausgeprägt war und eine ausgeprägte Verbesserung aufgrund eines „ceiling“-Effekts nicht mehr möglich war.

In zukünftigen Studien sollten genauere Messmethoden zur Einschätzung des Gleichgewichts angewandt werden, wie z. B. eine posturographische Messplatte [144]. Allerdings waren diese Parameter in unserer Studie nur als sekundäre Endpunkte festgelegt.

Eine weitere Schwäche des WBVT, wie es in unserer Studie angewandt wurde, ist, dass nur die Beinmuskulatur trainiert wurde. Durch die Ausführung der statischen Kniebeuge auf der vibrierenden Platte wurden nur die unteren Extremitäten belastet.

Die Muskulatur des Rumpfes und der oberen Extremitäten erreichte kein Trainingseffekt.

Boeselt et al. haben in ihrer Studie ein individualisiertes Ausdauer- und Krafttraining mit den COPD-Patienten durchgeführt, in denen die Schulter-, Arm- und Rumpfmuskulatur explizit mit Übungen an Geräten ins Training einbezogen waren [84].

In weiteren Studien könnte versucht werden, die Fußstellung von Anfang an auf Standposition 3 und somit auf die höchstmögliche Trainingsintensität (höchste Amplitude) zu legen (siehe Kapitel 1.8.2. Trainingsintensität).

Auch könnte in weiteren Studien die statische Position auf der Vibrationsplatte durch eine dynamische Bewegung ersetzt werden, um stärkere Effekte zu erzielen [144]. Zusätzlich könnten Gewichte in den Händen eingesetzt werden, um die oberen Extremitäten zu trainieren. In solch einem Fall müsste beachtet werden, dass die Bewegungsabfolge nicht zur Überanstrengung sowie Dyspnoe bei den Probanden führen, da dies die Compliance verschlechtern könnte.

Um eine genauere Aussage über längerfristige Auswirkungen des WBVT machen zu können, wäre eine Follow-Up-Untersuchung sinnvoll. Man könnte erörtern wie lange die Effekte des WBVT anhalten.

Für zukünftige Studien wäre weiterhin interessant, die Interventionen der Kontrollgruppe zu variieren und das WBVT z. B. einem expliziten Krafttraining gegenüberzustellen, um zwei Trainingsformen zu vergleichen.

## 5.9. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Mit der vorliegenden Studie wurde erstmalig ein niederfrequentes Ganzkörpervibrationstraining im ambulanten Setting bei stabilen COPD-Patienten durchgeführt. Die Probanden trainierten 12 Wochen lang ein bis zweimal wöchentlich. Neben einer Warm-Up- und Cool-Down-Einheit stand das 3 x 3-minütige WBVT im Fokus der ca. 30-minütigen Trainingseinheiten. Die Kontrollgruppe trainierte im selben Zeitraum, einmal wöchentlich und absolvierte ein Lungensportprogramm, das aus Atemübungen, leichten Gymnastikübungen und Entspannungstechniken bestand.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass das WBVT schon nach Ablauf des nur dreimonatigen Trainingsintervalls zu deutlich positiven und vor allem signifikanten Trainingseffekten geführt hat, was bei den Probanden der Kontrollgruppe nicht in diesem Ausmaß der Fall war.

Da in die Studie Probanden mit Schweregraden I, II und III eingeschlossen wurden, lässt sich nun sagen, dass sowohl Patienten mit milden als auch mit schwereren Formen der COPD von der Intervention profitieren. Dennoch blieben Patienten mit dem höchsten Schweregrad IV von der Studie ausgeschlossen, um vermehrte Studienabbrüche durch den sehr schlechten Gesundheitszustand dieser Patientengruppe zu minimieren.

Im 6MWD, einem wichtigen Parameter, der Rückschlüsse auf die körperliche Leistungsfähigkeit der COPD-Patienten ermöglicht, konnten besonders hohe Gehstreckenänderungen erreicht werden, welche die MCID (minimum clinically important difference) um mehr als das Doppelte überstiegen [38].

Auch im ähnlich aussagekräftigen FTSTST konnten signifikante Ergebnisse erzielt werden, die für den positiven Einfluss des WBVT auf die körperliche Leistungsfähigkeit sprechen, was sich auch in der Arbeit von Glöckl et al. bestätigte [39].

Besonders interessant war, die Auswirkung des WBVT auf das Gleichgewicht der Probanden zu beobachten.

Vor Durchführung unserer Studie hatte es noch keine Untersuchungen gegeben, die sich mit dieser Frage in der gegebenen Konstellation auseinandergesetzt haben.

Es stellte sich heraus, dass die Auswirkungen des WBVT auch auf das Gleichgewicht durchweg positiv waren, allerdings konnten nicht bei jedem Parameter signifikante Unterschiede erzielt werden. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass der Trainingsreiz, der durch das WBVT ausgelöst wurde, nicht effektiv genug war, um signifikante Veränderungen des Gleichgewichts nachzuweisen. Auch könnten die angewandten Testverfahren nicht empfindlich genug gewesen sein, um bereits minimale Veränderungen der Gleichgewichtsfähigkeit zu detektieren. In Zukunft könnte die Nutzung eines Mechanographen, wie bei Gloeckl et al., in Erwägung gezogen werden [144].

Ein Parameter, der auch im Alltag eine wichtige Rolle spielt, ist die Muskelkraft der unteren Extremitäten, die an der Beinpresse ermittelt wurde. Nach dem WBVT nahm diese signifikant zu. Ein wichtiger Effekt für die Probanden, welche durch die mit der COPD assoziierten Muskelatrophie zum Teil in ihrer Mobilität eingeschränkt und unsicher im eigenen Haushalt werden.

Zusammenfassend lässt bei Betrachtung dieser Ergebnisse sagen, dass das Ganzkörpervibrationstraining eine schonende Methode ist. Innerhalb der 13 Wochen wurden bei den Probanden keine Nebenwirkungen vermerkt. Zudem ist bereits ein geringer Zeitaufwand pro Woche ausreichend, um besagte Ergebnisse zu erzielen. Zu den Faktoren, die eine flächendeckende Nutzung des WBVT erschweren gehört, dass Patienten mit Erkrankungen des Bewegungsapparats von einer Teilnahme abzuraten ist. Bandscheibenvorfälle und Arthrosen z. B. können durch die Exposition gegenüber der Vibrationen exazerbieren. Weiterhin liegt der Fokus des Trainings auf der Vibrationsplatte vor allem in der unteren Körperhälfte. Beim bloßen Stand auf der Platte oder der Kniebeuge-Position, wie in unserer Studie, werden z. B. Arm- und Rumpfmuskulatur nicht erreicht, so dass diese separat zum WBVT trainiert werden müssen, um einen ganzheitlichen Effekt zu erzielen.

Für zukünftige Studien, die sich mit den Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings auf COPD-Patienten beschäftigen werden, können nach dieser Arbeit einige Empfehlungen ausgesprochen werden.

Mit 27 Probanden, die die Studie abgeschlossen haben, war die Fallzahl zwar nicht gering - für zukünftige Projekte könnte jedoch ein größeres Probandenkollektiv rekrutiert werden, um repräsentativere Ergebnisse zu erhalten.

Zu diesem Zweck könnten auch Patienten mit dem COPD-Schweregrad IV eingeschlossen werden, um zu sehen, wie diese Patientengruppe auf das WBVT reagiert.

Auch könnte der Trainingsumfang erweitert werden, indem der Trainingszeitraum z. B. auf sechs Monate gesteigert wird. Die Trainingsfrequenz könnte ebenfalls auf zwei- bis dreimal wöchentlich angehoben werden, um stärkere oder zusätzliche Effekte zu erreichen, wie z. B. die Verbesserung der Lungenfunktion. Der Trainingsaufbau bietet ebenfalls Fläche für Abwandlungen. Das WBVT könnte um ein separates Krafttraining für die oberen Extremitäten ergänzt werden, um auch die Rumpf-, Schulter- und Armmuskulatur zu trainieren. Weiterhin könnte neben dem zehnminütigen „Warm-Up“ und „Cool-Down“ eine zusätzliche Ausdauer-Trainingseinheit hinzugefügt werden. Bei diesen Änderungen müsste man bedenken, dass sich die Trainingseinheiten, im Vergleich zu unseren 30-minütigen Einheiten, verlängern würden, was die Compliance der Probanden herabsetzen könnte.

Die Anschaffung einer Vibrationsplatte könnte in Zukunft von Einrichtungen der Lungenrehabilitation und von Lungensportvereinen erwogen werden. Nach einer einmaligen Einführung durch professionelles Personal könnte das Training auch selbstständig durchgeführt werden. Neben der Nebenwirkungsfreiheit ist auch die Verletzungsgefahr bei dieser Trainingsart gering.

Obwohl die Galileo®-Vibrationsplatte wenig Platz einnimmt, wäre sie für private Haushalte zurzeit noch zu kostspielig.

In der aktuellen COPD-Leitlinie 2018 wurde das Vibrationstraining bereits im Kapitel: Pneumologische Rehabilitation aufgenommen.

Es ist zu hoffen, dass diese Trainingsmethode nach weiterer Erforschung zukünftig in der COPD-Rehabilitation Verbreitung findet und in bestehende Lungenrehabilitationsprogramme eingegliedert werden kann. Sowohl unter den Therapeuten als auch bei den Patienten muss sich dieses neue Trainingsformat aber erst etablieren.

## LITERATURVERZEICHNIS

20. Agusti, A.G., COPD, a multicomponent disease: implications for management. *Respir Med*, 2005. **99**(6): p. 670-82.
62. Agusti, A.G., et al., Systemic effects of chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J*, 2003. **21**(2): p. 347-60.
135. Almadana Pacheco, V., et al., Patient Profile of Drop-Outs From a Pulmonary Rehabilitation Program. *Arch Bronconeumol*, 2016.
100. Álvarez-Barbosa, F., et al., Effects of supervised whole body vibration exercise on fall risk factors, functional dependence and health-related quality of life in nursing home residents aged 80+. *Maturitas*, 2014. **79**(4): p. 456-63.
53. American Thoracic Society. 2016 [20.04.2017]; Available from: [www.thoracic.org/members/assemblies/srn/questionnaires/sgrq.php](http://www.thoracic.org/members/assemblies/srn/questionnaires/sgrq.php).
60. Anthonisen, N.R., et al., Hospitalizations and mortality in the Lung Health Study. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002. **166**(3): p. 333-9.  
Balance Scale decline after age 70 years in healthy community-dwelling people: a systematic review. *J Physiother*, 2014. **60**(2): p. 85-9.
157. Bandura, A., ed. *Self-Efficacy: The Exercise of Control*. 1997, WH Freeman and Company: New York, NY.
66. Barnes, P.J. and B.R. Celli, Systemic manifestations and comorbidities of COPD. *Eur Respir J*, 2009. **33**(5): p. 1165-85.
154. Beauchamp, M.K., et al., Impairments in balance discriminate fallers from non-fallers in COPD. *Respir Med*, 2009. **103**(12): p. 1885-91.
54. Beretta, L., et al., Validity of the Saint George's Respiratory Questionnaire in the evaluation of the health-related quality of life in patients with interstitial lung disease secondary to systemic sclerosis. *Rheumatology (Oxford)*, 2007. **46**(2): p. 296-301.
84. Boeselt, T., et al., Benefits of High-Intensity Exercise Training to Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Controlled Study. *Respiration*, 2017. **93**(5): p. 301-310.
116. Borg, G.A., Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 1982. **14**(5): p. 377-81.
106. Bosco, C., et al., Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol*, 1999. **19**(2): p. 183-7.
149. Braz Júnior, D.S., et al., Whole-body vibration improves functional capacity and quality of life in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a pilot study. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2015. **10**: p. 125-32.
22. Buatois, S., et al., Five times sit to stand test is a predictor of recurrent falls in healthy community-living subjects aged 65 and older. *J Am Geriatr Soc*, 2008. **56**(8): p. 1575-7.
30. Burge, S. and J.A. Wedzicha, COPD exacerbations: definitions and classifications. *Eur Respir J Suppl*, 2003. **41**: p. 46s-53s.
73. Burkhardt, R. and W. Pankow, [Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) - Rational Diagnostics and Therapy]. *Pneumologie*, 2016. **70**(8): p. 533-45.

87. Cardinale, M. and C. Bosco, The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev*, 2003. **31**(1): p. 3-7.
92. Cardinale, M. and J. Wakeling, Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med*, 2005. **39**(9): p. 585-9; discussion 589.
141. Choi, E.T., et al., The effects of visual control whole body vibration exercise on balance and gait function of stroke patients. *J Phys Ther Sci*, 2016. **28**(11): p. 3149-3152.
124. Chomiak, T., F.V. Pereira, and B. Hu, The Single-leg-Stance Test in Parkinson's Disease. 2014: *Journal of Clinical Medicine Research*. p. 182-185.
94. [cited 2018 24.01.]; Available from: [www.schrittfuerschritt.at/schritt/galileo-vibrationstraining-2](http://www.schrittfuerschritt.at/schritt/galileo-vibrationstraining-2).
64. Cielen, N., K. Maes, and G. Gayan-Ramirez, Musculoskeletal disorders in chronic obstructive pulmonary disease. *Biomed Res Int*, 2014. **2014**: p. 965764.
56. Cleutjens, F.A., et al., Cognitive-pulmonary disease. *Biomed Res Int*, 2014. **2014**: p. 697825.
31. Criée, C.P., et al., Body plethysmography--its principles and clinical use. *Respir Med*, 2011. **105**(7): p. 959-71.
118. Csuka, M. and D.J. McCarty, Simple method for measurement of lower extremity muscle strength. *Am J Med*, 1985. **78**(1): p. 77-81.
108. da Silva Cardoso, M.C., et al., Pulmonary rehabilitation and whole-body vibration in chronic obstructive pulmonary disease. 2016: *Mortiz: Revista de Educacao Fisica*. p. 44-50.
107. Delecluse, C., M. Roelants, and S. Verschueren, Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 2003. **35**(6): p. 1033-41.
115. Dourado, V.Z., [Reference Equations for the 6-Minute Walk Test in Healthy Individuals.]. *Arq Bras Cardiol*, 2011.
127. Downs, S., J. Marquez, and P. Chiarelli, Normative scores on the
120. Duncan, R.P., A.L. Leddy, and G.M. Earhart, Five times sit-to-stand test performance in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 2011. **92**(9): p. 1431-6.
121. Ejupi, A., et al., Kinect-Based Five-Times-Sit-to-Stand Test for Clinical and In-Home Assessment of Fall Risk in Older People. *Gerontology*, 2015. **62**(1): p. 118-24.
35. Enright, P.L. and D.L. Sherrill, Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med*, 1998. **158**(5 Pt 1): p. 1384-7.
97. Figueroa, A., et al., Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women. *Hypertens Res*, 2012. **35**(6): p. 667-72.
18. Fischer, B.M., E. Pavlisko, and J.A. Voynow, Pathogenic triad in COPD: oxidative stress, protease-antiprotease imbalance, and inflammation. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2011. **6**: p. 413-21.

8. Fletcher, M.J., et al., COPD uncovered: an international survey on the impact of chronic obstructive pulmonary disease [COPD] on a working age population. *BMC Public Health*, 2011. **11**: p. 612.
139. Furness, T., et al., Benefits of whole-body vibration to people with COPD: a community-based efficacy trial. *BMC Pulm Med*, 2014. **14**: p. 38.
26. Gea, J., A. Agustí, and J. Roca, Pathophysiology of muscle dysfunction in COPD. *J Appl Physiol* (1985), 2013. **114**(9): p. 1222-34.
5. Geldmacher, H., et al., [The prevalence of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Germany. Results of the BOLD study]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2008. **133**(50): p. 2609-14.
152. Ghobadi, H., et al., The Relationship between COPD Assessment Test (CAT) Scores and Severity of Airflow Obstruction in Stable COPD Patients. *Tanaffos*, 2012. **11**(2): p. 22-6.
145. Giles, L.S., et al., Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain? *Phys Ther Sport*, 2015. **16**(1): p. 45-52.
39. Gloeckl, R., et al., Effects of whole body vibration in patients with chronic obstructive pulmonary disease--a randomized controlled trial. *Respir Med*, 2012. **106**(1): p. 75-83.
144. Gloeckl, R., et al., What's the secret behind the benefits of whole-body vibration training in patients with COPD? A randomized, controlled trial. *Respir Med*, 2017. **126**: p. 17-24.
88. Gloeckl, R., I. Heinzemann, and K. Kenn, Whole body vibration training in patients with COPD: A systematic review. *Chron Respir Dis*, 2015. **12**(3): p. 212-21.
93. GmbH, N.M. Funktionsprinzip der Galileo-Therapie. [cited 2018 24.01.]; Available from: [www.galileo-training.com/de-deutschland/produkte/galileo-therapiegeraete/vibrationstherapie.html](http://www.galileo-training.com/de-deutschland/produkte/galileo-therapiegeraete/vibrationstherapie.html).
45. (GOLD), G.I.f.C.O.L.D., Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2017 Report). 2017.
14. (GOLD), G.I.f.C.O.L.D., Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2018 Report). 2018.
10. Godoy, I., Diagnosing alpha-1 antitrypsin deficiency: does it prevent or improve the course of COPD? *J Bras Pneumol*, 2016. **42**(5): p. 307-308.
27. Gosselink, R., T. Troosters, and M. Decramer, Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD. *Am J Respir Crit Care Med*, 1996. **153**(3): p. 976-80.
38. Greulich, T., et al., Benefits of whole body vibration training in patients hospitalised for COPD exacerbations - a randomized clinical trial. *BMC Pulm Med*, 2014. **14**: p. 60.
86. Group, C.W., Pulmonary rehabilitation for patients with chronic pulmonary disease (COPD): an evidence-based analysis. *Ont Health Technol Assess Ser*, 2012. **12**(6): p. 1-75.



67. Gruffydd-Jones, K. and M.M. Jones, NICE guidelines for chronic obstructive pulmonary disease: implications for primary care. *Br J Gen Pract*, 2011. **61**(583): p. 91-2.
48. Guralnik, J.M., et al., Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000. **55**(4): p. M221-31.
117. Hareendran, A., et al., Proposing a standardized method for evaluating patient report of the intensity of dyspnea during exercise testing in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2012. **7**: p. 345-55.
12. Härtel, U., J. Stieber, and U. Keil, [The effect of education and professional position on changes in cigarette smoking and alcohol consumption: results of the MONIKA Augsburg cohort study]. *Soz Präventivmed*, 1993. **38**(3): p. 133-41.
136. Heerema-Poelman, A., I. Stuive, and J.B. Wempe, Adherence to a maintenance exercise program 1 year after pulmonary rehabilitation: what are the predictors of dropout? *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2013. **33**(6): p. 419-26.
69. Hillas, G., et al., Managing comorbidities in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2015. **10**: p. 95-109.
21. Hogg, J.C., et al., The nature of small-airway obstruction in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med*, 2004. **350**(26): p. 2645-53.
15. Hogg, J.C., Pathophysiology of airflow limitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet*, 2004. **364**(9435): p. 709-21.
113. Holland, A.E., et al., An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J*, 2014. **44**(6): p. 1428-46.
90. Internetseite Galileo-Training. 18.04.2017]; Available from: [www.galileo-training.com/de-deutsch/themen/grundlagen-vibrationstraining.html](http://www.galileo-training.com/de-deutsch/themen/grundlagen-vibrationstraining.html).
63. Ionescu, A.A. and E. Schoon, Osteoporosis in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J Suppl*, 2003. **46**: p. 64s-75s.
130. Iwamoto, J., et al., Whole body vibration exercise improves body balance and walking velocity in postmenopausal osteoporotic women treated with alendronate: Galileo and Alendronate Intervention Trail (GAIT). *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2012. **12**(3): p. 136-43.
125. Jeon, Y.J. and G.M. Kim, Comparison of the Berg Balance Scale and Fullerton Advanced Balance Scale to predict falls in community-dwelling adults. *J Phys Ther Sci*, 2017. **29**(2): p. 232-234.
46. Jones, P.W., et al., A self-complete measure of health status for chronic airflow limitation. The St. George's Respiratory Questionnaire. *Am Rev Respir Dis*, 1992. **145**(6): p. 1321-7.
44. Jones, P.W., et al., Development and first validation of the COPD Assessment Test. *Eur Respir J*, 2009. **34**(3): p. 648-54.
43. Jones, P.W., et al., Properties of the COPD assessment test in a cross-sectional European study. *Eur Respir J*, 2011. **38**(1): p. 29-35.

55. Jones, P.W., F.H. Quirk, and C.M. Baveystock, The St George's Respiratory Questionnaire. *Respir Med*, 1991. **85 Suppl B**: p. 25-31; discussion 33-7.
52. Jones, P.W., St. George's Respiratory Questionnaire: MCID. *COPD*, 2005. **2**(1): p. 75-9.
51. Jones, S.E., et al., The five-repetition sit-to-stand test as a functional outcome measure in COPD. *Thorax*, 2013. **68**(11): p. 1015-20.
148. Jungblut, S., et al., [Improvement in expiratory peak flow (PEF) of COPD patients due to "lung" sport for 12 months]. *Pneumologie*, 2007. **61**(2): p. 83-5.
131. Kawanabe, K., et al., Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med*, 2007. **56**(1): p. 28-33.
70. Kenfield, S.A., et al., Smoking and smoking cessation in relation to mortality in women. *JAMA*, 2008. **299**(17): p. 2037-47.
65. Kenn, K. and K. Kühl, Angst und Depression bei COPD - Unterschätzte Komorbidität? *Pneumo News*, 2011. **2**: p. 34-36.
104. Kerschman-Schindl, K., et al., Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol*, 2001. **21**(3): p. 377-82.
147. Kessler, R., et al., Symptom variability in patients with severe COPD: a pan-European cross-sectional study. *Eur Respir J*, 2011. **37**(2): p. 264-72.
6. Kirsch, F., et al., [Costs of illness for asthma and COPD in adults in Germany]. *Gesundheitswesen*, 2013. **75**(7): p. 413-23.
101. Klärner, A., et al., [Effects of two different types of whole body vibration on neuromuscular performance and body composition in postmenopausal women]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2011. **136**(42): p. 2133-9.
29. Ko, F.W., et al., Acute exacerbation of COPD. *Respirology*, 2016.
138. Koczulla, A.R., et al., [Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2012. **137**(22): p. 1185-7.
19. Koczulla, A.R., et al., Alpha-1 antitrypsin is elevated in exhaled breath condensate and serum in exacerbated COPD patients. *Respir Med*, 2012. **106**(1): p. 120-6.
47. Kon, S.S., et al., Minimum clinically important difference for the COPD Assessment Test: a prospective analysis. *Lancet Respir Med*, 2014. **2**(3): p. 195-203.
36. Laboratories, A.C.o.P.S.f.C.P.F., ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002. **166**(1): p. 111-7.
13. Lampert, T., E. von der Lippe, and S. Müters, [Prevalence of smoking in the adult population of Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 2013. **56**(5-6): p. 802-8.
126. Leddy, A.L., B.E. Crouner, and G.M. Earhart, Functional gait assessment and balance evaluation system test: reliability, validity, sensitivity, and specificity for identifying individuals with Parkinson disease who fall. *Phys Ther*, 2011. **91**(1): p. 102-13.

140. Lee, K., S. Lee, and C. Song, Whole-body vibration training improves balance, muscle strength and glycosylated hemoglobin in elderly patients with diabetic neuropathy. *Tohoku J Exp Med*, 2013. **231**(4): p. 305-14.
143. Machado, A., et al., Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*, 2010. **20**(2): p. 200-7.
112. Macintyre, N., et al., Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J*, 2005. **26**(4): p. 720-35.
76. McCarthy, B., et al., Pulmonary rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015(2): p. CD003793.
151. Menn, P., N. Weber, and R. Holle, Health-related quality of life in patients with severe COPD hospitalized for exacerbations - comparing EQ-5D, SF-12 and SGRQ. *Health Qual Life Outcomes*, 2010. **8**: p. 39.
49. Meriem, M., et al., Sit-to-stand test and 6-min walking test correlation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Thorac Med*, 2015. **10**(4): p. 269-73.
74. Michiels, B., et al., A systematic review of the evidence on the effectiveness and risks of inactivated influenza vaccines in different target groups. *Vaccine*, 2011. **29**(49): p. 9159-70.
11. Miravittles, M., et al., European Respiratory Society statement: diagnosis and treatment of pulmonary disease in  $\alpha$ . *Eur Respir J*, 2017. **50**(5).
72. Mulhall, P. and G. Criner, Non-pharmacological treatments for COPD. *Respirology*, 2016.
146. Navarro, S. and B. Driscoll, Regeneration of the Aging Lung: A Mini-Review. *Gerontology*, 2016.
95. Nazarov, V. and G. Spivak, Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory and Practice of Physical Culture (Moscow)*, 1985. **12**: p. 445-450.
75. Nici, L., et al., American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2006. **173**(12): p. 1390-413.
7. Nowak, D., et al., [Cost-of-illness Study for the Treatment of COPD in Germany]. *Pneumologie*, 2004. **58**(12): p. 837-44.
50. Ozalevli, S., et al., Comparison of the Sit-to-Stand Test with 6 min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med*, 2007. **101**(2): p. 286-93.
128. Pereira, V.V., R.A. Maia, and S.M. Silva, The functional assessment Berg Balance Scale is better capable of estimating fall risk in the elderly than the posturographic Balance Stability System. *Arq Neuropsiquiatr*, 2013. **71**(1): p. 5-10.
134. Pleguezuelos, E., et al., Effects of whole body vibration training in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology*, 2013. **18**(6): p. 1028-34.

89. Pleguezuelos, E., et al., How whole-body vibration can help our COPD patients. Physiological changes at different vibration frequencies. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2018. **13**: p. 3373-3380.
77. Puhan, M.A., et al., Early versus late pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease patients with acute exacerbations: a randomized trial. *Respiration*, 2012. **83**(6): p. 499-506.
34. Puhan, M.A., et al., Simple functional performance tests and mortality in COPD. *Eur Respir J*, 2013. **42**(4): p. 956-63.
41. Puhan, M.A., et al., The minimal important difference of exercise tests in severe COPD. *Eur Respir J*, 2011. **37**(4): p. 784-90.
110. Qaseem, A., et al., Diagnosis and management of stable chronic obstructive pulmonary disease: a clinical practice guideline update from the American College of Physicians, American College of Chest Physicians, American Thoracic Society, and European Respiratory Society. *Ann Intern Med*, 2011. **155**(3): p. 179-91.
111. Quanjer, P.H., et al., Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J Suppl*, 1993. **16**: p. 5-40.
24. Ramírez-Sarmiento, A., et al., Expiratory muscle endurance in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*, 2002. **57**(2): p. 132-6.
42. Rasekaba, T., et al., The six-minute walk test: a useful metric for the cardiopulmonary patient. *Intern Med J*, 2009. **39**(8): p. 495-501.
129. Reeves, N.D., C.N. Maganaris, and M.V. Narici, Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*, 2004. **91**(1): p. 116-8.
80. Reis, L.F., et al., A long-term pulmonary rehabilitation program progressively improves exercise tolerance, quality of life and cardiovascular risk factors in patients with COPD. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2013. **49**(4): p. 491-7.
153. Revitt, O., et al., Short outpatient pulmonary rehabilitation programme reduces readmission following a hospitalization for an exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology*, 2013. **18**(7): p. 1063-8.
150. Ringbaek, T., G. Martinez, and P. Lange, A comparison of the assessment of quality of life with CAT, CCQ, and SGRQ in COPD patients participating in pulmonary rehabilitation. *COPD*, 2012. **9**(1): p. 12-5.
105. Ritzmann, R., et al., EMG activity during whole body vibration: motion artifacts or stretch reflexes? *Eur J Appl Physiol*, 2010. **110**(1): p. 143-51.
96. Roelants, M., et al., Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med*, 2004. **25**(1): p. 1-5.
155. Roig, M., et al., Falls in people with chronic obstructive pulmonary disease: an observational cohort study. *Respir Med*, 2011. **105**(3): p. 461-9.

103. Roth, J., et al., Whole body vibration in cystic fibrosis--a pilot study. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2008. **8**(2): p. 179-87.
109. Sá-Caputo, D., et al., Benefits of Whole-Body Vibration, as a Component of the Pulmonary Rehabilitation, in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Narrative Review with a Suitable Approach. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2016. **2016**: p. 2560710.
37. Salhi, B., et al., Effects of Whole Body Vibration in Patients With COPD. *COPD*, 2015. **12**(5): p. 525-32.
33. Salzman, S.H., The 6-min walk test: clinical and research role, technique, coding, and reimbursement. *Chest*, 2009. **135**(5): p. 1345-52.
71. Scanlon, P.D., et al., Smoking cessation and lung function in mild-to-moderate chronic obstructive pulmonary disease. The Lung Health Study. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000. **161**(2 Pt 1): p. 381-90.
25. Schmidt, R.F., F. Lang, and M. Heckmann, *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. Vol. 31. 2011, Springer Verlag Berlin-Heidelberg.
61. Schols, A.M., et al., Prevalence and characteristics of nutritional depletion in patients with stable COPD eligible for pulmonary rehabilitation. *Am Rev Respir Dis*, 1993. **147**(5): p. 1151-6.
40. Schünemann, H. and G.H. Guyatt, Commentary- Goodbye M(C)ID! Hello MID, Where Do You Come From? 2005: Health Services Research. p. 593-597.
137. Selzler, A.M., et al., Pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: predictors of program completion and success. *COPD*, 2012. **9**(5): p. 538-45.
156. Selzler, A.M., et al., The importance of exercise self-efficacy for clinical outcomes in pulmonary rehabilitation. *Rehabil Psychol*, 2016. **61**(4): p. 380-388.
28. Sethi, S., et al., Determinants of bacteriological outcomes in exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Infection*, 2016. **44**(1): p. 65-76.
81. Seymour, J.M., et al., Ultrasound measurement of rectus femoris cross-sectional area and the relationship with quadriceps strength in COPD. *Thorax*, 2009. **64**(5): p. 418-23.
82. Shrikrishna, D., et al., Quadriceps wasting and physical inactivity in patients with COPD. *Eur Respir J*, 2012. **40**(5): p. 1115-22.
58. Sin, D.D. and S.F. Man, Chronic obstructive pulmonary disease as a risk factor for cardiovascular morbidity and mortality. *Proc Am Thorac Soc*, 2005. **2**(1): p. 8-11.
159. Spielmanns, M., et al., [Lung exercise: outpatient exercise program has long-term benefits on COPD]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2015. **140**(13): p. 1001-5.
132. Spielmanns, M., et al., Low-Volume Whole-Body Vibration Training Improves Exercise Capacity in Subjects With Mild to Severe COPD. *Respir Care*, 2017. **62**(3): p. 315-323.

133. Spielmanns, M., et al., Whole-Body Vibration Training During a Low Frequency Outpatient Exercise Training Program in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients: A Randomized, Controlled Trial. *J Clin Med Res*, 2017. **9**(5): p. 396-402.
123. Springer, B.A., et al., Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. *J Geriatr Phys Ther*, 2007. **30**(1): p. 8-15.
79. Spruit, M.A., et al., An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013. **188**(8): p. e13-64.
158. Spruit, M.A., et al., COPD and exercise: does it make a difference? *Breathe (Sheff)*, 2016. **12**(2): p. e38-49.
32. Spruit, M.A., et al., Predicting outcomes from 6-minute walk distance in chronic obstructive pulmonary disease. *J Am Med Dir Assoc*, 2012. **13**(3): p. 291-7.
99. Stolzenberg, N., et al., Whole-body vibration versus proprioceptive training on postural control in post-menopausal osteopenic women. *Gait Posture*, 2013. **38**(3): p. 416-20.
122. Strassmann, A., et al., Population-based reference values for the 1-min sit-to-stand test. *Int J Public Health*, 2013. **58**(6): p. 949-53.
102. Tankisheva, E., et al., Effects of intensive whole-body vibration training on muscle strength and balance in adults with chronic stroke: a randomized controlled pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014. **95**(3): p. 439-46.
68. Tashkin, D.P. and L.M. Fabbri, Long-acting beta-agonists in the management of chronic obstructive pulmonary disease: current and future agents. *Respir Res*, 2010. **11**: p. 149.
59. Tockman, M.S. and G.W. Comstock, Respiratory risk factors and mortality: longitudinal studies in Washington County, Maryland. *Am Rev Respir Dis*, 1989. **140**(3 Pt 2): p. S56-63.
83. Troosters, T., et al., Resistance training prevents deterioration in quadriceps muscle function during acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 2010. **181**(10): p. 1072-7.
78. Troosters, T., R. Gosselink, and M. Decramer, Short- and long-term effects of outpatient rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized trial. *Am J Med*, 2000. **109**(3): p. 207-12.
114. Troosters, T., R. Gosselink, and M. Decramer, Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J*, 1999. **14**(2): p. 270-4.
98. Tseng, S.Y., et al., Influence of Whole-Body Vibration Training Without Visual Feedback on Balance and Lower-Extremity Muscle Strength of the Elderly: A Randomized Controlled Trial. *Medicine (Baltimore)*, 2016. **95**(5): p. e2709.
91. Tsukahara, Y., et al., What is the most effective posture to conduct vibration from the lower to the upper extremities during whole-body vibration exercise? *Open Access J Sports Med*, 2016. **7**: p. 5-10.

9. van Boven, J.F., et al., COPD in the working age population: the economic impact on both patients and government. *COPD*, 2013. **10**(6): p. 629-39.
57. Vanfleteren, L.E., et al., Clusters of comorbidities based on validated objective measurements and systemic inflammation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013. **187**(7): p. 728-35.
142. Verschueren, S.M., et al., Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res*, 2004. **19**(3): p. 352-9.
1. Vogelmeier, C., et al., [Guideline for the Diagnosis and Treatment of COPD Patients - Issued by the German Respiratory Society and the German Atemwegsliga in Cooperation with the Austrian Society of Pneumology]. *Pneumologie*, 2018. **72**(4): p. 253-308.
2. Vogelmeier, C., et al., [Guidelines for the diagnosis and therapy of COPD issued by Deutsche Atemwegsliga and Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin]. *Pneumologie*, 2007. **61**(5): p. e1-40.
16. Vogelmeier, C., et al., [Pathogenesis of chronic obstructive pulmonary disease]. *Internist (Berl)*, 2006. **47**(9): p. 885-6, 888-90, 892-4.
85. Vonbank, K., et al., Strength training increases maximum working capacity in patients with COPD--randomized clinical trial comparing three training modalities. *Respir Med*, 2012. **106**(4): p. 557-63.
4. Waschki, B., et al., Physical activity monitoring in COPD: compliance and associations with clinical characteristics in a multicenter study. *Respir Med*, 2012. **106**(4): p. 522-30.
119. Whitney, S.L., et al., Clinical measurement of sit-to-stand performance in people with balance disorders: validity of data for the Five-Times-Sit-to-Stand Test. *Phys Ther*, 2005. **85**(10): p. 1034-45.
3. WHO - World Health Organisation, Burden of COPD,. 2017 [cited 2017 25.04.2017]; Available from: [www.who.int/respiratory/copd/burden/en/](http://www.who.int/respiratory/copd/burden/en/).
23. Zhang, F., et al., Performance on five times sit-to-stand task as a predictor of subsequent falls and disability in older persons. *J Aging Health*, 2013. **25**(3): p. 478-92.
17. Zinellu, E., et al., Circulating biomarkers of oxidative stress in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Respir Res*, 2016. **17**(1): p. 150.

1. Vogelmeier, C., et al., [*Guideline for the Diagnosis and Treatment of COPD Patients - Issued by the German Respiratory Society and the German Atemwegsliga in Cooperation with the Austrian Society of Pneumology*]. *Pneumologie*, 2018. **72**(4): p. 253-308.
2. Vogelmeier, C., et al., [*Guidelines for the diagnosis and therapy of COPD issued by Deutsche Atemwegsliga and Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin*]. *Pneumologie*, 2007. **61**(5): p. e1-40.
3. WHO - World Health Organisation, *Burden of COPD*,. 2017 [cited 2017 25.04.2017]; Available from: [www.who.int/respiratory/copd/burden/en/](http://www.who.int/respiratory/copd/burden/en/).
4. Waschki, B., et al., *Physical activity monitoring in COPD: compliance and associations with clinical characteristics in a multicenter study*. *Respir Med*, 2012. **106**(4): p. 522-30.
5. Geldmacher, H., et al., [*The prevalence of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Germany. Results of the BOLD study*]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2008. **133**(50): p. 2609-14.
6. Kirsch, F., et al., [*Costs of illness for asthma and COPD in adults in Germany*]. *Gesundheitswesen*, 2013. **75**(7): p. 413-23.
7. Nowak, D., et al., [*Cost-of-illness Study for the Treatment of COPD in Germany*]. *Pneumologie*, 2004. **58**(12): p. 837-44.
8. Fletcher, M.J., et al., *COPD uncovered: an international survey on the impact of chronic obstructive pulmonary disease [COPD] on a working age population*. *BMC Public Health*, 2011. **11**: p. 612.
9. van Boven, J.F., et al., *COPD in the working age population: the economic impact on both patients and government*. *COPD*, 2013. **10**(6): p. 629-39.
10. Godoy, I., *Diagnosing alpha-1 antitrypsin deficiency: does it prevent or improve the course of COPD?* *J Bras Pneumol*, 2016. **42**(5): p. 307-308.
11. Miravittles, M., et al., *European Respiratory Society statement: diagnosis and treatment of pulmonary disease in  $\alpha$* . *Eur Respir J*, 2017. **50**(5).
12. Härtel, U., J. Stieber, and U. Keil, [*The effect of education and professional position on changes in cigarette smoking and alcohol consumption: results of the MONIKA Augsburg cohort study*]. *Soz Präventivmed*, 1993. **38**(3): p. 133-41.
13. Lampert, T., E. von der Lippe, and S. Müters, [*Prevalence of smoking in the adult population of Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)*]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 2013. **56**(5-6): p. 802-8.
14. (GOLD), G.I.f.C.O.L.D., *Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2018 Report)*. 2018.
15. Hogg, J.C., *Pathophysiology of airflow limitation in chronic obstructive pulmonary disease*. *Lancet*, 2004. **364**(9435): p. 709-21.
16. Vogelmeier, C., et al., [*Pathogenesis of chronic obstructive pulmonary disease*]. *Internist (Berl)*, 2006. **47**(9): p. 885-6, 888-90, 892-4.
17. Zinellu, E., et al., *Circulating biomarkers of oxidative stress in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review*. *Respir Res*, 2016. **17**(1): p. 150.
18. Fischer, B.M., E. Pavlisko, and J.A. Voynow, *Pathogenic triad in COPD: oxidative stress, protease-antiprotease imbalance, and inflammation*. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2011. **6**: p. 413-21.
19. Koczulla, A.R., et al., *Alpha-1 antitrypsin is elevated in exhaled breath condensate and serum in exacerbated COPD patients*. *Respir Med*, 2012. **106**(1): p. 120-6.
20. Agusti, A.G., *COPD, a multicomponent disease: implications for management*. *Respir Med*, 2005. **99**(6): p. 670-82.
21. Hogg, J.C., et al., *The nature of small-airway obstruction in chronic obstructive pulmonary disease*. *N Engl J Med*, 2004. **350**(26): p. 2645-53.



22. Buatois, S., et al., *Five times sit to stand test is a predictor of recurrent falls in healthy community-living subjects aged 65 and older*. J Am Geriatr Soc, 2008. **56**(8): p. 1575-7.
23. Zhang, F., et al., *Performance on five times sit-to-stand task as a predictor of subsequent falls and disability in older persons*. J Aging Health, 2013. **25**(3): p. 478-92.
24. Ramírez-Sarmiento, A., et al., *Expiratory muscle endurance in chronic obstructive pulmonary disease*. Thorax, 2002. **57**(2): p. 132-6.
25. Schmidt, R.F., F. Lang, and M. Heckmann, *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. Vol. 31. 2011, Springer Verlag Berlin-Heidelberg.
26. Gea, J., A. Agustí, and J. Roca, *Pathophysiology of muscle dysfunction in COPD*. J Appl Physiol (1985), 2013. **114**(9): p. 1222-34.
27. Gosselink, R., T. Troosters, and M. Decramer, *Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD*. Am J Respir Crit Care Med, 1996. **153**(3): p. 976-80.
28. Sethi, S., et al., *Determinants of bacteriological outcomes in exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease*. Infection, 2016. **44**(1): p. 65-76.
29. Ko, F.W., et al., *Acute exacerbation of COPD*. Respirology, 2016.
30. Burge, S. and J.A. Wedzicha, *COPD exacerbations: definitions and classifications*. Eur Respir J Suppl, 2003. **41**: p. 46s-53s.
31. Criée, C.P., et al., *Body plethysmography--its principles and clinical use*. Respir Med, 2011. **105**(7): p. 959-71.
32. Spruit, M.A., et al., *Predicting outcomes from 6-minute walk distance in chronic obstructive pulmonary disease*. J Am Med Dir Assoc, 2012. **13**(3): p. 291-7.
33. Salzman, S.H., *The 6-min walk test: clinical and research role, technique, coding, and reimbursement*. Chest, 2009. **135**(5): p. 1345-52.
34. Puhan, M.A., et al., *Simple functional performance tests and mortality in COPD*. Eur Respir J, 2013. **42**(4): p. 956-63.
35. Enright, P.L. and D.L. Sherrill, *Reference equations for the six-minute walk in healthy adults*. Am J Respir Crit Care Med, 1998. **158**(5 Pt 1): p. 1384-7.
36. Laboratories, A.C.o.P.S.f.C.P.F., *ATS statement: guidelines for the six-minute walk test*. Am J Respir Crit Care Med, 2002. **166**(1): p. 111-7.
37. Salhi, B., et al., *Effects of Whole Body Vibration in Patients With COPD*. COPD, 2015. **12**(5): p. 525-32.
38. Greulich, T., et al., *Benefits of whole body vibration training in patients hospitalised for COPD exacerbations - a randomized clinical trial*. BMC Pulm Med, 2014. **14**: p. 60.
39. Gloeckl, R., et al., *Effects of whole body vibration in patients with chronic obstructive pulmonary disease--a randomized controlled trial*. Respir Med, 2012. **106**(1): p. 75-83.
40. Schünemann, H. and G.H. Guyatt, *Commentary- Goodbye M(C)ID! Hello MID, Where Do You Come From?* 2005: Health Services Research. p. 593-597.
41. Puhan, M.A., et al., *The minimal important difference of exercise tests in severe COPD*. Eur Respir J, 2011. **37**(4): p. 784-90.
42. Rasekaba, T., et al., *The six-minute walk test: a useful metric for the cardiopulmonary patient*. Intern Med J, 2009. **39**(8): p. 495-501.
43. Jones, P.W., et al., *Properties of the COPD assessment test in a cross-sectional European study*. Eur Respir J, 2011. **38**(1): p. 29-35.
44. Jones, P.W., et al., *Development and first validation of the COPD Assessment Test*. Eur Respir J, 2009. **34**(3): p. 648-54.
45. (GOLD), G.I.f.C.O.L.D., *Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2017 Report)*. 2017.
46. Jones, P.W., et al., *A self-complete measure of health status for chronic airflow limitation. The St. George's Respiratory Questionnaire*. Am Rev Respir Dis, 1992. **145**(6): p. 1321-7.
47. Kon, S.S., et al., *Minimum clinically important difference for the COPD Assessment Test: a prospective analysis*. Lancet Respir Med, 2014. **2**(3): p. 195-203.

48. Guralnik, J.M., et al., *Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2000. **55**(4): p. M221-31.
49. Meriem, M., et al., *Sit-to-stand test and 6-min walking test correlation in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. Ann Thorac Med, 2015. **10**(4): p. 269-73.
50. Ozalevli, S., et al., *Comparison of the Sit-to-Stand Test with 6 min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. Respir Med, 2007. **101**(2): p. 286-93.
51. Jones, S.E., et al., *The five-repetition sit-to-stand test as a functional outcome measure in COPD*. Thorax, 2013. **68**(11): p. 1015-20.
52. Jones, P.W., *St. George's Respiratory Questionnaire: MCID*. COPD, 2005. **2**(1): p. 75-9.
53. American Thoracic Society. 2016 20.04.2017]; Available from: [www.thoracic.org/members/assemblies/srn/questionnaires/sgrq.php](http://www.thoracic.org/members/assemblies/srn/questionnaires/sgrq.php).
54. Beretta, L., et al., *Validity of the Saint George's Respiratory Questionnaire in the evaluation of the health-related quality of life in patients with interstitial lung disease secondary to systemic sclerosis*. Rheumatology (Oxford), 2007. **46**(2): p. 296-301.
55. Jones, P.W., F.H. Quirk, and C.M. Baveystock, *The St George's Respiratory Questionnaire*. Respir Med, 1991. **85 Suppl B**: p. 25-31; discussion 33-7.
56. Cleutjens, F.A., et al., *COgnitive-pulmonary disease*. Biomed Res Int, 2014. **2014**: p. 697825.
57. Vanfleteren, L.E., et al., *Clusters of comorbidities based on validated objective measurements and systemic inflammation in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. Am J Respir Crit Care Med, 2013. **187**(7): p. 728-35.
58. Sin, D.D. and S.F. Man, *Chronic obstructive pulmonary disease as a risk factor for cardiovascular morbidity and mortality*. Proc Am Thorac Soc, 2005. **2**(1): p. 8-11.
59. Tockman, M.S. and G.W. Comstock, *Respiratory risk factors and mortality: longitudinal studies in Washington County, Maryland*. Am Rev Respir Dis, 1989. **140**(3 Pt 2): p. S56-63.
60. Anthonisen, N.R., et al., *Hospitalizations and mortality in the Lung Health Study*. Am J Respir Crit Care Med, 2002. **166**(3): p. 333-9.
61. Schols, A.M., et al., *Prevalence and characteristics of nutritional depletion in patients with stable COPD eligible for pulmonary rehabilitation*. Am Rev Respir Dis, 1993. **147**(5): p. 1151-6.
62. Agustí, A.G., et al., *Systemic effects of chronic obstructive pulmonary disease*. Eur Respir J, 2003. **21**(2): p. 347-60.
63. Ionescu, A.A. and E. Schoon, *Osteoporosis in chronic obstructive pulmonary disease*. Eur Respir J Suppl, 2003. **46**: p. 64s-75s.
64. Cielen, N., K. Maes, and G. Gayan-Ramirez, *Musculoskeletal disorders in chronic obstructive pulmonary disease*. Biomed Res Int, 2014. **2014**: p. 965764.
65. Kenn, K. and K. Kühl, *Angst und Depression bei COPD - Unterschätzte Komorbidität?* Pneumo News, 2011. **2**: p. 34-36.
66. Barnes, P.J. and B.R. Celli, *Systemic manifestations and comorbidities of COPD*. Eur Respir J, 2009. **33**(5): p. 1165-85.
67. Gruffydd-Jones, K. and M.M. Jones, *NICE guidelines for chronic obstructive pulmonary disease: implications for primary care*. Br J Gen Pract, 2011. **61**(583): p. 91-2.
68. Tashkin, D.P. and L.M. Fabbri, *Long-acting beta-agonists in the management of chronic obstructive pulmonary disease: current and future agents*. Respir Res, 2010. **11**: p. 149.
69. Hillas, G., et al., *Managing comorbidities in COPD*. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2015. **10**: p. 95-109.
70. Kenfield, S.A., et al., *Smoking and smoking cessation in relation to mortality in women*. JAMA, 2008. **299**(17): p. 2037-47.

71. Scanlon, P.D., et al., *Smoking cessation and lung function in mild-to-moderate chronic obstructive pulmonary disease. The Lung Health Study.* Am J Respir Crit Care Med, 2000. **161**(2 Pt 1): p. 381-90.
72. Mulhall, P. and G. Criner, *Non-pharmacological treatments for COPD.* Respiriology, 2016.
73. Burkhardt, R. and W. Pankow, [*Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) - Rational Diagnostics and Therapy*]. Pneumologie, 2016. **70**(8): p. 533-45.
74. Michiels, B., et al., *A systematic review of the evidence on the effectiveness and risks of inactivated influenza vaccines in different target groups.* Vaccine, 2011. **29**(49): p. 9159-70.
75. Nici, L., et al., *American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on pulmonary rehabilitation.* Am J Respir Crit Care Med, 2006. **173**(12): p. 1390-413.
76. McCarthy, B., et al., *Pulmonary rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease.* Cochrane Database Syst Rev, 2015(2): p. CD003793.
77. Puhan, M.A., et al., *Early versus late pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease patients with acute exacerbations: a randomized trial.* Respiration, 2012. **83**(6): p. 499-506.
78. Troosters, T., R. Gosselink, and M. Decramer, *Short- and long-term effects of outpatient rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized trial.* Am J Med, 2000. **109**(3): p. 207-12.
79. Spruit, M.A., et al., *An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation.* Am J Respir Crit Care Med, 2013. **188**(8): p. e13-64.
80. Reis, L.F., et al., *A long-term pulmonary rehabilitation program progressively improves exercise tolerance, quality of life and cardiovascular risk factors in patients with COPD.* Eur J Phys Rehabil Med, 2013. **49**(4): p. 491-7.
81. Seymour, J.M., et al., *Ultrasound measurement of rectus femoris cross-sectional area and the relationship with quadriceps strength in COPD.* Thorax, 2009. **64**(5): p. 418-23.
82. Shrikrishna, D., et al., *Quadriceps wasting and physical inactivity in patients with COPD.* Eur Respir J, 2012. **40**(5): p. 1115-22.
83. Troosters, T., et al., *Resistance training prevents deterioration in quadriceps muscle function during acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease.* Am J Respir Crit Care Med, 2010. **181**(10): p. 1072-7.
84. Boeselt, T., et al., *Benefits of High-Intensity Exercise Training to Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Controlled Study.* Respiration, 2017. **93**(5): p. 301-310.
85. Vonbank, K., et al., *Strength training increases maximum working capacity in patients with COPD--randomized clinical trial comparing three training modalities.* Respir Med, 2012. **106**(4): p. 557-63.
86. Group, C.W., *Pulmonary rehabilitation for patients with chronic pulmonary disease (COPD): an evidence-based analysis.* Ont Health Technol Assess Ser, 2012. **12**(6): p. 1-75.
87. Cardinale, M. and C. Bosco, *The use of vibration as an exercise intervention.* Exerc Sport Sci Rev, 2003. **31**(1): p. 3-7.
88. Gloeckl, R., I. Heinzelmann, and K. Kenn, *Whole body vibration training in patients with COPD: A systematic review.* Chron Respir Dis, 2015. **12**(3): p. 212-21.
89. Pleguezuelos, E., et al., *How whole-body vibration can help our COPD patients. Physiological changes at different vibration frequencies.* Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2018. **13**: p. 3373-3380.
90. Internetseite Galileo-Training. 18.04.2017]; Available from: [www.galileo-training.com/de-deutsch/themen/grundlagen-vibrationstraining.html](http://www.galileo-training.com/de-deutsch/themen/grundlagen-vibrationstraining.html).

91. Tsukahara, Y., et al., *What is the most effective posture to conduct vibration from the lower to the upper extremities during whole-body vibration exercise?* Open Access J Sports Med, 2016. **7**: p. 5-10.
92. Cardinale, M. and J. Wakeling, *Whole body vibration exercise: are vibrations good for you?* Br J Sports Med, 2005. **39**(9): p. 585-9; discussion 589.
93. GmbH, N.M. *Funktionsprinzip der Galileo-Therapie*. [cited 2018 24.01.]; Available from: [www.galileo-training.com/de-deutschland/produkte/galileo-therapiegeraete/vibrationstherapie.html](http://www.galileo-training.com/de-deutschland/produkte/galileo-therapiegeraete/vibrationstherapie.html).
94. [cited 2018 24.01.]; Available from: [www.schrittfuerschritt.at/schritt/galileo-vibrationstraining-2](http://www.schrittfuerschritt.at/schritt/galileo-vibrationstraining-2).
95. Nazarov, V. and G. Spivak, *Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method*. Theory and Practice of Physical Culture (Moscow), 1985. **12**: p. 445-450.
96. Roelants, M., et al., *Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females*. Int J Sports Med, 2004. **25**(1): p. 1-5.
97. Figueroa, A., et al., *Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women*. Hypertens Res, 2012. **35**(6): p. 667-72.
98. Tseng, S.Y., et al., *Influence of Whole-Body Vibration Training Without Visual Feedback on Balance and Lower-Extremity Muscle Strength of the Elderly: A Randomized Controlled Trial*. Medicine (Baltimore), 2016. **95**(5): p. e2709.
99. Stolzenberg, N., et al., *Whole-body vibration versus proprioceptive training on postural control in post-menopausal osteopenic women*. Gait Posture, 2013. **38**(3): p. 416-20.
100. Álvarez-Barbosa, F., et al., *Effects of supervised whole body vibration exercise on fall risk factors, functional dependence and health-related quality of life in nursing home residents aged 80+*. Maturitas, 2014. **79**(4): p. 456-63.
101. Klarner, A., et al., *[Effects of two different types of whole body vibration on neuromuscular performance and body composition in postmenopausal women]*. Dtsch Med Wochenschr, 2011. **136**(42): p. 2133-9.
102. Tankisheva, E., et al., *Effects of intensive whole-body vibration training on muscle strength and balance in adults with chronic stroke: a randomized controlled pilot study*. Arch Phys Med Rehabil, 2014. **95**(3): p. 439-46.
103. Roth, J., et al., *Whole body vibration in cystic fibrosis--a pilot study*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2008. **8**(2): p. 179-87.
104. Kerschman-Schindl, K., et al., *Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume*. Clin Physiol, 2001. **21**(3): p. 377-82.
105. Ritzmann, R., et al., *EMG activity during whole body vibration: motion artifacts or stretch reflexes?* Eur J Appl Physiol, 2010. **110**(1): p. 143-51.
106. Bosco, C., et al., *Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure*. Clin Physiol, 1999. **19**(2): p. 183-7.
107. Delecluse, C., M. Roelants, and S. Verschueren, *Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training*. Med Sci Sports Exerc, 2003. **35**(6): p. 1033-41.
108. da Silva Cardoso, M.C., et al., *Pulmonary rehabilitation and whole-body vibration in chronic obstructive pulmonary disease*. 2016: Mortiz: Revista de Educacao Fisica. p. 44-50.
109. Sá-Caputo, D., et al., *Benefits of Whole-Body Vibration, as a Component of the Pulmonary Rehabilitation, in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Narrative Review with a Suitable Approach*. Evid Based Complement Alternat Med, 2016. **2016**: p. 2560710.

110. Qaseem, A., et al., *Diagnosis and management of stable chronic obstructive pulmonary disease: a clinical practice guideline update from the American College of Physicians, American College of Chest Physicians, American Thoracic Society, and European Respiratory Society*. *Ann Intern Med*, 2011. **155**(3): p. 179-91.
111. Quanjer, P.H., et al., *Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society*. *Eur Respir J Suppl*, 1993. **16**: p. 5-40.
112. Macintyre, N., et al., *Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung*. *Eur Respir J*, 2005. **26**(4): p. 720-35.
113. Holland, A.E., et al., *An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease*. *Eur Respir J*, 2014. **44**(6): p. 1428-46.
114. Troosters, T., R. Gosselink, and M. Decramer, *Six minute walking distance in healthy elderly subjects*. *Eur Respir J*, 1999. **14**(2): p. 270-4.
115. Dourado, V.Z., [Reference Equations for the 6-Minute Walk Test in Healthy Individuals.]. *Arq Bras Cardiol*, 2011.
116. Borg, G.A., *Psychophysical bases of perceived exertion*. *Med Sci Sports Exerc*, 1982. **14**(5): p. 377-81.
117. Hareendran, A., et al., *Proposing a standardized method for evaluating patient report of the intensity of dyspnea during exercise testing in COPD*. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2012. **7**: p. 345-55.
118. Csuka, M. and D.J. McCarty, *Simple method for measurement of lower extremity muscle strength*. *Am J Med*, 1985. **78**(1): p. 77-81.
119. Whitney, S.L., et al., *Clinical measurement of sit-to-stand performance in people with balance disorders: validity of data for the Five-Times-Sit-to-Stand Test*. *Phys Ther*, 2005. **85**(10): p. 1034-45.
120. Duncan, R.P., A.L. Leddy, and G.M. Earhart, *Five times sit-to-stand test performance in Parkinson's disease*. *Arch Phys Med Rehabil*, 2011. **92**(9): p. 1431-6.
121. Ejupi, A., et al., *Kinect-Based Five-Times-Sit-to-Stand Test for Clinical and In-Home Assessment of Fall Risk in Older People*. *Gerontology*, 2015. **62**(1): p. 118-24.
122. Strassmann, A., et al., *Population-based reference values for the 1-min sit-to-stand test*. *Int J Public Health*, 2013. **58**(6): p. 949-53.
123. Springer, B.A., et al., *Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed*. *J Geriatr Phys Ther*, 2007. **30**(1): p. 8-15.
124. Chomiak, T., F.V. Pereira, and B. Hu, *The Single-leg-Stance Test in Parkinson's Disease*. 2014: *Journal of Clinical Medicine Research*. p. 182-185.
125. Jeon, Y.J. and G.M. Kim, *Comparison of the Berg Balance Scale and Fullerton Advanced Balance Scale to predict falls in community-dwelling adults*. *J Phys Ther Sci*, 2017. **29**(2): p. 232-234.
126. Leddy, A.L., B.E. Crouner, and G.M. Earhart, *Functional gait assessment and balance evaluation system test: reliability, validity, sensitivity, and specificity for identifying individuals with Parkinson disease who fall*. *Phys Ther*, 2011. **91**(1): p. 102-13.
127. Downs, S., J. Marquez, and P. Chiarelli, *Normative scores on the Berg Balance Scale decline after age 70 years in healthy community-dwelling people: a systematic review*. *J Physiother*, 2014. **60**(2): p. 85-9.
128. Pereira, V.V., R.A. Maia, and S.M. Silva, *The functional assessment Berg Balance Scale is better capable of estimating fall risk in the elderly than the posturographic Balance Stability System*. *Arq Neuropsiquiatr*, 2013. **71**(1): p. 5-10.
129. Reeves, N.D., C.N. Maganaris, and M.V. Narici, *Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size*. *Eur J Appl Physiol*, 2004. **91**(1): p. 116-8.

130. Iwamoto, J., et al., *Whole body vibration exercise improves body balance and walking velocity in postmenopausal osteoporotic women treated with alendronate: Galileo and Alendronate Intervention Trail (GAIT)*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2012. **12**(3): p. 136-43.
131. Kawanabe, K., et al., *Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly*. Keio J Med, 2007. **56**(1): p. 28-33.
132. Spielmanns, M., et al., *Low-Volume Whole-Body Vibration Training Improves Exercise Capacity in Subjects With Mild to Severe COPD*. Respir Care, 2017. **62**(3): p. 315-323.
133. Spielmanns, M., et al., *Whole-Body Vibration Training During a Low Frequency Outpatient Exercise Training Program in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients: A Randomized, Controlled Trial*. J Clin Med Res, 2017. **9**(5): p. 396-402.
134. Pleguezuelos, E., et al., *Effects of whole body vibration training in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease*. Respiriology, 2013. **18**(6): p. 1028-34.
135. Almadana Pacheco, V., et al., *Patient Profile of Drop-Outs From a Pulmonary Rehabilitation Program*. Arch Bronconeumol, 2016.
136. Heerema-Poelman, A., I. Stuive, and J.B. Wempe, *Adherence to a maintenance exercise program 1 year after pulmonary rehabilitation: what are the predictors of dropout?* J Cardiopulm Rehabil Prev, 2013. **33**(6): p. 419-26.
137. Selzler, A.M., et al., *Pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: predictors of program completion and success*. COPD, 2012. **9**(5): p. 538-45.
138. Koczulla, A.R., et al., *[Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)]*. Dtsch Med Wochenschr, 2012. **137**(22): p. 1185-7.
139. Furness, T., et al., *Benefits of whole-body vibration to people with COPD: a community-based efficacy trial*. BMC Pulm Med, 2014. **14**: p. 38.
140. Lee, K., S. Lee, and C. Song, *Whole-body vibration training improves balance, muscle strength and glycosylated hemoglobin in elderly patients with diabetic neuropathy*. Tohoku J Exp Med, 2013. **231**(4): p. 305-14.
141. Choi, E.T., et al., *The effects of visual control whole body vibration exercise on balance and gait function of stroke patients*. J Phys Ther Sci, 2016. **28**(11): p. 3149-3152.
142. Verschueren, S.M., et al., *Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study*. J Bone Miner Res, 2004. **19**(3): p. 352-9.
143. Machado, A., et al., *Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial*. Scand J Med Sci Sports, 2010. **20**(2): p. 200-7.
144. Gloeckl, R., et al., *What's the secret behind the benefits of whole-body vibration training in patients with COPD? A randomized, controlled trial*. Respir Med, 2017. **126**: p. 17-24.
145. Giles, L.S., et al., *Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain?* Phys Ther Sport, 2015. **16**(1): p. 45-52.
146. Navarro, S. and B. Driscoll, *Regeneration of the Aging Lung: A Mini-Review*. Gerontology, 2016.
147. Kessler, R., et al., *Symptom variability in patients with severe COPD: a pan-European cross-sectional study*. Eur Respir J, 2011. **37**(2): p. 264-72.
148. Jungblut, S., et al., *[Improvement in expiratory peak flow (PEF) of COPD patients due to "lung" sport for 12 months]*. Pneumologie, 2007. **61**(2): p. 83-5.
149. Braz Júnior, D.S., et al., *Whole-body vibration improves functional capacity and quality of life in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a pilot study*. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2015. **10**: p. 125-32.

150. Ringbaek, T., G. Martinez, and P. Lange, *A comparison of the assessment of quality of life with CAT, CCQ, and SGRQ in COPD patients participating in pulmonary rehabilitation*. COPD, 2012. **9**(1): p. 12-5.
151. Menn, P., N. Weber, and R. Holle, *Health-related quality of life in patients with severe COPD hospitalized for exacerbations - comparing EQ-5D, SF-12 and SGRQ*. Health Qual Life Outcomes, 2010. **8**: p. 39.
152. Ghobadi, H., et al., *The Relationship between COPD Assessment Test (CAT) Scores and Severity of Airflow Obstruction in Stable COPD Patients*. Tanaffos, 2012. **11**(2): p. 22-6.
153. Revitt, O., et al., *Short outpatient pulmonary rehabilitation programme reduces readmission following a hospitalization for an exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease*. Respirology, 2013. **18**(7): p. 1063-8.
154. Beauchamp, M.K., et al., *Impairments in balance discriminate fallers from non-fallers in COPD*. Respir Med, 2009. **103**(12): p. 1885-91.
155. Roig, M., et al., *Falls in people with chronic obstructive pulmonary disease: an observational cohort study*. Respir Med, 2011. **105**(3): p. 461-9.
156. Selzler, A.M., et al., *The importance of exercise self-efficacy for clinical outcomes in pulmonary rehabilitation*. Rehabil Psychol, 2016. **61**(4): p. 380-388.
157. Bandura, A., ed. *Self-Efficacy: The Exercise of Control*. 1997, WH Freeman and Company: New York, NY.
158. Spruit, M.A., et al., *COPD and exercise: does it make a difference?* Breathe (Sheff), 2016. **12**(2): p. e38-49.
159. Spielmanns, M., et al., *[Lung exercise: outpatient exercise program has long-term benefits on COPD]*. Dtsch Med Wochenschr, 2015. **140**(13): p. 1001-5.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|                       |  |
|-----------------------|--|
| 6MWD                  | 6-minute walk distance (6-Minuten-Gehtest)                 |
| AECOPD                | akut-exazerbierte COPD                                     |
| ATS                   | American Thoracic Society                                  |
| BBS                   | Berg Balance Skala   |
| BMI                   | Body Mass Index  |
| BOLD                  | Burden of Chronic Obstructive Lung Disease                 |
| CAT                   | COPD-Assessment Test                                       |
| COPD                  | Chronic obstructive pulmonary disease                      |
| CTG                   | Calisthenics training group                                |
| DGP                   | Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin |
| FEV <sub>1</sub>      | Einsekundenkapazität                                       |
| FEV <sub>1</sub> /FVC | Tiffenau-Index   |
| FTSTST                | Five-times-sit-to-stand-test                               |
| GOLD                  | Global initiative for chronic obstructive lung disease     |
| LABA                  | Langwirksame Beta-2-Agonisten                              |
| LAMA                  | Langwirksame Anticholinergika                              |
| LTOT                  | Long-Term-Oxygen-Therapy                                   |
| MCID                  | minimal clinically important difference                    |
| mMRC                  | Modified British Medical Research Council                  |
| OLS                   | One leg stance   |
| PR                    | Pneumologische Rehabilitation                              |
| R                     | Atemwegswiderstand   |
| RV                    | Residualvolumen  |
| SGRQ                  | Saint George Respiratory Questionnaire                     |
| STST                  | Sit-to-stand-test  |
| TLC                   | Totale Lungenskapazität                                    |
| VC                    | Vitalkapazität   |
| WBVT                  | Whole body vibration training                              |
| WHO                   | World Health Organisation                                  |



Patienteninformation  
für die  
**„Pilotstudie zur Untersuchung der Veränderung der posturalen  
Kontrolle bei Patienten mit stabiler COPD vor und nach aktiver  
Muskelstimulation“**

Studienleiter:  
PD Dr. med. A-Rembert Koczulla  
Marburg, Baldingerstraße 1,  
35033 Marburg, Tel (06421) 586 4994 bzw.586 4956

**Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,**

wir bitten Sie, an einer Studie teilzunehmen. In vorangegangenen Studien konnte wissenschaftlich belegt werden, dass die Trainingstherapie auf Vibrationsplattformen bei Patienten mit COPD positive Auswirkungen zeigt. So werden Ihre Lebensqualität, Ihr Wohlbefinden und Ihre Ausdauer positiv beeinflusst. Des Weiteren kann die Häufigkeit von Krankenhausaufenthalten aufgrund von akuten Lungenkrisen verringert werden. Die Auswirkungen auf den Alltag, insbesondere auf das Sturzrisiko sind wenig untersucht.

In dieser Studie wollen wir die Auswirkungen eines über drei Monate stattfindenden Rehabilitationstrainings auf Ihre Erkrankung untersuchen. Sie werden dazu einem von zwei Trainingsprogrammen zugelost. Das erste ist ein Entspannungsprogramm, in dem neben leichter Gymnastik auch Atemübungen vermittelt werden. Das zweite Training findet auf einer Vibrationsplatte mit dem Namen „Galileo“ statt. Das Gerät funktioniert über eine Fußplatte, mit der Vibrationen zwischen 5-30 Hertz abgegeben werden können. Die Vibrationen imitieren die Laufbewegung und führen zu einer Muskelbeanspruchung.



In dieser Studie wollen wir die Auswirkungen des Galileo-Trainings auf die Lebensqualität, die Ausdauer, die Muskelkraft und die dynamische und statische Gleichgewichtsfähigkeit und die Körperschwankung beobachten.

Das Entspannungstraining soll einmal pro Woche für 45 min stattfinden. Das Training auf dem Galileo soll zweimal pro Woche für 15 min durchgeführt werden. Beide Trainingsgruppen trainieren in der Abteilung für Physiotherapie im Universitätsklinikum Marburg.

Um Ihren allgemeinen Gesundheits- und Leistungszustand einzuschätzen, werden zu Beginn des Trainings und nach drei Monaten die im Folgenden aufgelisteten Untersuchungen durchgeführt. Diese Messungen dienen auch dazu, Ihre Entwicklung während dieser Zeit festzuhalten.

**Die geplanten Untersuchungen sind:**

|   |                  |
|---|------------------|
| Ultraschall der Oberschenkelmuskulatur      | Dauer 10 Minuten |
| Lungenfunktionsdiagnostik                   | Dauer 25 Minuten |
| Fragebögen zur Lebensqualität               | Dauer 15 Minuten |
| - St. George's Respiratory Questionnaire    |                  |
| - CAT (COPD Assessment Test)                |                  |
| Kraft- und Ausdauermessungen                | Dauer 30 Minuten |
| - 6-Minuten-Gehtest                         |                  |
| - Beinpresse                                |                  |
| - Aufstehtest                               |                  |
| Blutentnahme (ca. 22,5ml)                   | Dauer 5 Minuten  |
| Gleichgewichts- und Körperschankungsmessung | Dauer 25 Minuten |

**Dauer gesamt (inklusive eventueller Wartezeiten) ca. 2h**

Die Messung der Oberschenkelmuskulatur erfolgt mit einem konventionellen Ultraschallgerät. Dieses Untersuchungsverfahren ist schmerzfrei und Sie sind keinerlei Strahlenbelastung ausgesetzt.

Bei der Lungenfunktionsdiagnostik (Bodyplethysmographie) sitzen Sie in einer kleinen und volumenkonstanten Kabine, in welcher die Lungenvolumina gemessen werden.

Bei der Kraft- und Ausdauermessung werden verschiedene Tests angewandt:

Beim 6-Minuten-Gehtest werden Sie gebeten, sechs Minuten zügig und soweit Sie können zu gehen. Wir messen dabei die von Ihnen zurückgelegte Strecke und dokumentieren Ihren Blutdruck, Ihre Sauerstoffsättigung und Ihre Herzfrequenz.

Beim Fahrradergometertest fahren Sie auf einem feststehenden Fahrrad. Dabei wird die Intensität des Tretens stetig ansteigen, bis eine gewisse Ausbelastung erreicht ist. Auch hier werden Ihre Sauerstoffsättigung und Herzfrequenz gemessen und Ihr subjektives Empfinden zur körperlichen Anstrengung und Atemnot anhand einer visuellen Skala eingeschätzt.

Bei der dynamischen Kraftmessung wird mit Hilfe einer Beinpresse Ihre theoretische Maximalkraft ermittelt. Dies ist ein Trainingsgerät, auf dem Sie auf einem beweglichen Schlitten liegen und Ihren Körper mit den Beinen gegen ein individuell eingestelltes Gewicht wegstemmen müssen. Das Gewicht wird nun progressiv gesteigert bis Sie den Wert an vorher festgesetzten Wiederholungen erreicht haben. Daraus lässt sich dann anhand einer entsprechenden Formel und Tabelle Ihre theoretische Maximalkraft errechnen.

Beim Aufstehtest werden Sie gebeten, fünfmal von einem handelsüblichen Stuhl aufzustehen. Wir messen die von Ihnen benötigte Zeit.

Die Messung des Gleichgewichts erfolgt über eine sogenannte Kraftmessplatte. Für die Messung wird vorab ihr Standbein bestimmt. Anschließend werden Sie gebeten abwechselnd mit geschlossenen sowie offenen Augen, auf einem Bein sowie auf beiden Beinen auf der Kraftmessplatte zu stehen. Die Dauer der einzelnen Messdurchläufe sind jeweils 30 sec.

Die oben beschriebenen Tests sind generell risikoarm. Zudem besteht für Sie jederzeit die Möglichkeit, die Untersuchung abubrechen.

Trotzdem kann es bei den Kraft- und Ausdauermessungen zu Reaktionen wie Schwindel, Atemnot, Erschöpfungszuständen, Muskelkater, Muskelverspannungen oder Belastungsschmerzen kommen.

Die Entnahme des Blutes erfolgt über die Vene. Außer einem kurzen Schmerz beim Einstich der Nadel kann es gelegentlich zu einer leichten Einblutung mit nachfolgendem Bluterguss („blauer Fleck“) kommen, der innerhalb weniger Tage verschwindet. Manche Personen reagieren auch auf eine kleine Blutentnahme mit einer Kreislaufreaktion. Um dies zu vermeiden, erfolgt die Blutentnahme bevorzugt im Liegen. Selbstverständlich wird das Personal entsprechende Maßnahmen ergreifen (z.B. Hochlagern der Beine), falls bei Ihnen eine Kreislaufreaktion auftritt. Andere Risiken der Blutentnahme wie Infektion, Bildung eines Blutpfropfes oder die Verletzung von benachbartem Gewebe und Nerven durch die Blutentnahmenadel sind bei einmaliger Blutentnahme sehr selten und bei geschultem Personal so gut wie ausgeschlossen.

Bei der Testung der Gleichgewichtsfähigkeit und der Körperschwankung ist von keinem Risiko auszugehen. Die einzunehmenden Standbedingungen können jederzeit selbstständig von Ihnen verlassen werden. Dennoch ist das Stehen auf einem Bein zusätzlich durch eine hinter Ihnen stehenden Person abgesichert.

Es erfolgt eine pseudonymisierte Speicherung der Daten, d.h. Ihre persönlichen Daten werden verschlüsselt gespeichert, z.B. wird Ihnen ein Zahlen- und Buchstabenkombination zugewiesen. Nur

mit Hilfe einer speziellen Liste (Schlüsselliste), kann bei Bedarf von den verschlüsselten Daten auf Ihre Person rückgeschlossen werden. Diese Schlüsselliste wird am Ende der Studie vernichtet. Zu der Schlüsselliste haben nur die Studienleiter Zugang.

Selbstverständlich erfolgt Ihre Teilnahme an der Studie freiwillig. Es steht Ihnen frei, Ihr Einverständnis jederzeit ohne Angabe von Gründen zu widerrufen, wodurch Ihnen keinerlei Nachteile entstehen.

Falls Sie weitere Fragen haben sollten, können Sie sich jederzeit an den Prüfarzt, Dr. Spielmanns und Mitwirkende wenden.

Dr. med. Marc Spielmanns

Chefarzt Medizinische Klinik und Ambulante Pneumologische Reha in Leverkusen (APRiL)

02171/409-2351  
spielmanns@k-plus.de

Anja Klutsch  
0157/85613211  
a.klutsch@hotmail.de

Vielen Dank für Ihr Interesse

Dr. med. Marc Spielmanns

## Patienteneinwilligung

für die

**„Pilotstudie zur Untersuchung der Veränderung der posturalen Kontrolle bei  
Patienten mit stabiler COPD vor und nach aktiver Muskelstimulation“**

Ich, \_\_\_\_\_, geb. am \_\_\_\_\_

wohnhaft in \_\_\_\_\_  
                     PLZ                      Ort                      Telefon

wurde von Herrn/ Frau \_\_\_\_\_ über das Ziel und den Ablauf der Studie aufgeklärt.

Die Aufklärung wurde mir zusätzlich schriftlich in Form einer Patienteninformation übergeben. Ich habe den Inhalt der Aufklärung verstanden und zur Kenntnis genommen, dass ich bei weiteren Fragen jederzeit meinen behandelnden Arzt oder den Prüfarzt Dr. Marc Spielmanns, Klinik für Innere Medizin, St. Remigius Krankenhaus Opladen, 02171/409-23-51 ansprechen kann. Mir ist bekannt, dass ich die Untersuchung jederzeit ohne Nennung von Gründen und ohne dadurch für mich entstehende Nachteile beenden kann. Ich werde dies meinem behandelnden Arzt und den Verantwortlichen umgehend mitteilen.

Hiermit erkläre ich meine Einwilligung zu der oben genannten Studie.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Patienten

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Aufklärender Arzt

Ihr Name:

Heutiges Datum:



## Wie geht es Ihnen mit Ihrer COPD? Füllen Sie den COPD Assessment Test™ (CAT) aus!

Dieser Fragebogen wird Ihnen und Ihrem Arzt helfen, die Auswirkungen der COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung) auf Ihr Wohlbefinden und Ihr tägliches Leben festzustellen. Ihre Antworten und das Test-Ergebnis können von Ihnen und Ihrem Arzt dazu verwendet werden, die Behandlung Ihrer COPD zu verbessern, damit Sie bestmöglich davon profitieren.

Bitte geben Sie für jede der folgenden Aussagen an, was derzeit am besten auf Sie zutrifft. Kreuzen Sie (X) in jeder Zeile bitte nur eine Möglichkeit an.

Beispiel: Ich bin sehr glücklich  0  1  2  3  4  5 Ich bin sehr traurig

|  |   | PUNKTE   |                                   |
|--|---|--|-----------------------------------|
| Ich huste nie  | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Ich huste ständig  | <input type="text"/>              |
| Ich bin überhaupt nicht verschleimt  | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Ich bin völlig verschleimt   | <input type="text"/>              |
| Ich spüre keinerlei Engegefühl in der Brust                                  | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Ich spüre ein sehr starkes Engegefühl in der Brust                           | <input type="text"/>              |
| Wenn ich bergauf oder eine Treppe hinaufgehe, komme ich nicht außer Atem     | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Wenn ich bergauf oder eine Treppe hinaufgehe, komme ich sehr außer Atem      | <input type="text"/>              |
| Ich bin bei meinen häuslichen Aktivitäten nicht eingeschränkt                | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Ich bin bei meinen häuslichen Aktivitäten sehr stark eingeschränkt           | <input type="text"/>              |
| Ich habe keine Bedenken, trotz meiner Lungenerkrankung das Haus zu verlassen | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Ich habe wegen meiner Lungenerkrankung große Bedenken, das Haus zu verlassen | <input type="text"/>              |
| Ich schlafe tief und fest  | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Wegen meiner Lungenerkrankung schlafe ich nicht tief und fest                | <input type="text"/>              |
| Ich bin voller Energie   | <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 | Ich habe überhaupt keine Energie   | <input type="text"/>              |
|  |   |  | <b>SUMME</b> <input type="text"/> |

COPD Assessment Test und CAT Logo ist eine Marke der GlaxoSmithKline-Unternehmensgruppe. © 2009 GlaxoSmithKline. Alle Rechte vorbehalten.



## Fragebogen über Atemwegsbeschwerden

### St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)

Mit diesem Fragebogen möchten wir mehr darüber erfahren, welche Beschwerden Ihnen Ihre Atmung bereitet und wie diese sich auf Ihr Leben auswirken. Wir möchten dadurch herausfinden, was Ihnen an Ihrer Erkrankung aus Ihrer Sicht die meisten Probleme bereitet, und nicht, was die Ärzte und das Pflegepersonal dazu meinen.

Lesen Sie bitte die Anleitung sorgfältig durch und fragen Sie nach, wenn Sie etwas nicht verstehen. Denken Sie nicht zu lange über Ihre Antworten nach.

Bevor Sie den restlichen Fragebogen ausfüllen:

Bitte kreuzen Sie die Beschreibung an, die nach Ihrer Beurteilung an Ihrem jetzigen Gesundheitszustand entspricht:

sehr gut  (1)    gut  (2)    mäßig  (3)    schlecht  (4)    sehr schlecht  (5)

### TEIL 1

Diese Fragen beziehen sich auf die Häufigkeit Ihrer Atemwegsbeschwerden in den vergangenen 3 Monaten.

Bitte kreuzen Sie für jede Frage 1 Kästchen an:

- |  | an den meisten Tagen der Woche                      | an mehreren Tagen der Woche                        | an ein paar Tagen im Monat                         | nur bei Infektionen der Atemwege                       | gar nicht   |
|--|---|--|--|--|---|
| 1. Während der letzten 3 Monate habe ich gehustet:   | <input type="checkbox"/> (4)                        | <input type="checkbox"/> (3)                       | <input type="checkbox"/> (2)                       | <input type="checkbox"/> (1)                           | <input type="checkbox"/> (0)                      |
| 2. Während der letzten 3 Monate habe ich Schleim (Auswurf) ausgehustet:  | <input type="checkbox"/>                            | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/>                               | <input type="checkbox"/>                          |
| 3. Während der letzten 3 Monate war ich kurzatmig:   | <input type="checkbox"/>                            | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/>                               | <input type="checkbox"/>                          |
| 4. Während der letzten 3 Monate hatte ich Anfälle von Keuchen oder Pfeifen beim Atemholen (Atemgeräusch):  | <input type="checkbox"/>                            | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/>                               | <input type="checkbox"/>                          |
| 5. Wie viele schwere oder sehr unangenehme Anfälle von Atemwegsbeschwerden hatten Sie in den vergangenen 3 Monaten:                              | mehr als 3 Anfälle<br><input type="checkbox"/> (4)  | 3 Anfälle<br><input type="checkbox"/> (3)          | 2 Anfälle<br><input type="checkbox"/> (2)          | 1 Anfall<br><input type="checkbox"/> (1)               | keine Anfälle<br><input type="checkbox"/> (0)     |
| 6. Wie lange dauerte der schlimmste Anfall von Atemwegsbeschwerden? (Wenn Sie keine schweren Anfälle hatten, gehen Sie bitte weiter zu Frage 7.) | 1 Woche oder länger<br><input type="checkbox"/> (3) | 3 Tage oder länger<br><input type="checkbox"/> (2) | 1 oder 2 Tage<br><input type="checkbox"/> (1)      | weniger als 1 Tag<br><input type="checkbox"/> (0)      |   |
| 7. Wie viele gute Tage (d.h. Tage mit wenig Atembeschwerden) hatten Sie in einer durchschnittlichen Woche in den vergangenen 3 Monaten?          | kein Tag war gut<br><input type="checkbox"/> (4)    | 1 oder 2 gute Tage<br><input type="checkbox"/> (3) | 3 oder 4 gute Tage<br><input type="checkbox"/> (2) | fast jeder Tag war gut<br><input type="checkbox"/> (1) | jeder Tag war gut<br><input type="checkbox"/> (0) |
| 8. Wenn Sie pfeifend atmen oder keuchen, ist es morgens schlimmer?   | nein<br><input type="checkbox"/> (0)                | ja<br><input type="checkbox"/> (1)                 |  |  |   |

## TEIL 2

### Abschnitt 1

Wie würden Sie Ihr Atemleiden beschreiben?

Bitte nur 1 Kästchen ankreuzen:

|                                      |                                      |                                |                              |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| das wichtigste Problem, das ich habe | bereitet mir ziemlich viele Probleme | bereitet mir ein paar Probleme | bereitet mir keine Probleme  |
| <input type="checkbox"/> (3)         | <input type="checkbox"/> (2)         | <input type="checkbox"/> (1)   | <input type="checkbox"/> (0) |

Wenn Sie berufstätig sind oder waren, kreuzen Sie bitte eines der Kästchen an:

|   |  |   |
|---|--|---|
| Ich habe wegen meiner Atemwegsbeschwerden ganz aufgehört zu arbeiten. | Meine Atemwegsbeschwerden beeinträchtigen mich bei der Arbeit oder haben mich veranlasst, meinen Beruf/meine Stelle zu wechseln. | Meine Atemwegsbeschwerden wirken sich nicht auf meine Arbeit aus. |
| <input type="checkbox"/> (2)  | <input type="checkbox"/> (1)   | <input type="checkbox"/> (0)                                      |

### Abschnitt 2

Diese Fragen beziehen sich darauf, bei welchen Tätigkeiten Sie derzeit für gewöhnlich in Atemnot geraten.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „richtig“ oder „falsch“ ankreuzen:

|                                 | richtig                      | falsch                       |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| still sitzen oder ruhig liegen  | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (0) |
| sich waschen oder anziehen      | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| im Haus herumgehen              | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| draußen auf ebenen Wegen gehen  | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| einen Treppenabsatz hinaufgehen | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| bergauf gehen                   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Sport treiben                   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |

### Abschnitt 3

Nun folgen weitere Fragen zu Ihrem derzeitigen Husten und Ihrer derzeitigen Kurzatmigkeit.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie richtig oder falsch ankreuzen:

|  | richtig                      | falsch                       |
|--|------------------------------|------------------------------|
| Mein Husten tut weh.                                 | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (0) |
| Mein Husten macht mich müde.                         | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich gerate außer Atem, wenn ich rede.                | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich gerate außer Atem, wenn ich mich vornüber beuge. | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Mein Husten oder mein Atmen stören meinen Schlaf.    | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich bin schnell erschöpft.                           | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |



Abschnitt 4

Bei diesen Fragen geht es um weitere Auswirkungen, die Ihre Atemwegsbeschwerden derzeit möglicherweise auf Sie haben.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „richtig“ oder „falsch“ ankreuzen:

|   | richtig                      | falsch                       |
|---|------------------------------|------------------------------|
| Mein Husten oder mein Atmen ist mir in der Öffentlichkeit peinlich.                   | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (0) |
| Meine Atemwegsbeschwerden sind lästig für meine Familie, meine Freunde oder Nachbarn. | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Wenn ich keine Luft kriege, bekomme ich Angst oder gerate in Panik.                   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich habe das Gefühl, meine Atemwegsbeschwerden nicht im Griff zu haben.               | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich rechne nicht damit, dass es mit meinen Atemwegsbeschwerden besser wird.           | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Durch meine Atemprobleme bin ich anfällig oder invalide geworden.                     | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Es ist für mich riskant, mich sportlich zu betätigen.                                 | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Alles erscheint mir zu mühsam.  | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |

Abschnitt 5

Diese Fragen betreffen Ihre Medikamente. Wenn Sie keine Medikamente nehmen, gehen Sie bitte gleich zu Abschnitt 6 weiter.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „richtig“ oder „falsch“ ankreuzen:

|   | richtig                      | falsch                       |
|---|------------------------------|------------------------------|
| Meine Medikamente helfen mir nicht viel.                                  | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (0) |
| Es ist mir peinlich, meine Medikamente in der Öffentlichkeit zu benutzen. | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Meine Medikamente verursachen mir unangenehme Nebenwirkungen.             | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Meine Medikamente beeinträchtigen mein Leben erheblich.                   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |

Abschnitt 6

Bei diesen Fragen geht es darum, wie sich Ihr Atemleiden möglicherweise auf Ihre Aktivitäten auswirkt.

Bitte kreuzen Sie bei jedem Satz „richtig“ an, wenn darin eine oder mehrere Feststellungen aufgrund Ihres Atemleidens auf Sie zutreffen.

Sonst kreuzen Sie bitte „falsch“ an:

|  | richtig                      | falsch                       |
|--|------------------------------|------------------------------|
| Ich brauche lange, um mich zu waschen oder anzuziehen.   | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (0) |
| Ich kann kein Bad bzw. keine Dusche nehmen, oder ich brauche zu lange dazu.  | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich gehe langsamer als andere, oder ich halte an, um mich auszuruhen.  | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Aufgaben wie Haushalt dauern sehr lange, oder ich muss mich zwischendurch ausruhen.  | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Wenn ich einen Treppenabsatz hinaufgehe, muss ich langsam gehen oder zwischendurch anhalten.   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Wenn ich mich beeile oder schnell gehe, muss ich danach anhalten oder langsamer gehen.   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Wegen meines Atemleidens fällt es mir schwer, bergauf zu gehen, etwas die Treppen hoch zu tragen, leichte Gartenarbeit zu verrichten wie Unkrautjäten, zu tanzen, Bowling oder Golf zu spielen.            | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Wegen meines Atemleidens fällt es mir schwer, schwere Lasten zu tragen, den Garten umzugraben oder Schnee zu schippen, zu joggen oder schnell zu gehen (8 km/Stunde), Tennis zu spielen oder zu schwimmen. | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Wegen meines Atemleidens fällt es mir schwer, sehr schwere körperliche Arbeit zu verrichten, zu laufen, Rad zu fahren, schnell zu schwimmen oder anstrengenden Sport zu treiben.                           | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |

Abschnitt 7 Wir wüssten gerne, wie Ihre Atemwegsbeschwerden normalerweise Ihr tägliches Leben beeinflussen.  
 Bitte kreuzen Sie bei jeder Frage „richtig“ oder „falsch“ an.  
 (Bitte denken Sie daran, dass „richtig“ nur auf Sie zutrifft, wenn Sie etwas aufgrund Ihrer Atemwegsbeschwerden nicht tun können:)

|   | richtig                      | falsch                       |
|---|------------------------------|------------------------------|
| Ich kann keinen Sport treiben.  | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (0) |
| Ich kann nicht ausgehen, um mich zu unterhalten oder zu erholen.      | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich kann das Haus nicht verlassen, um einkaufen zu gehen.             | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich kann keine Hausarbeit verrichten.                                 | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |
| Ich kann mich nicht weit von meinem Bett oder meinem Stuhl entfernen. | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>     |

Es folgt eine Liste von weiteren Tätigkeiten, die Sie wegen Ihrer Atemwegsbeschwerden möglicherweise nicht ausüben können. (Sie brauchen diese nicht anzukreuzen. Die Liste soll Ihnen nur helfen, sich daran zu erinnern, wie Ihre Kurzatmigkeit Sie möglicherweise einschränkt.)

- Spaziergehen oder den Hund spazieren führen
- etwas im Haus oder im Garten erledigen
- Geschlechtsverkehr
- in die Kirche gehen oder an einen Ort, an dem Unterhaltung geboten wird
- bei schlechtem Wetter nach draußen gehen oder verrauchte Räume betreten
- Familie oder Freunde besuchen oder mit Kindern spielen

Bitte notieren Sie, welchen anderen wichtigen Tätigkeiten Sie möglicherweise wegen Ihrer Atemwegsbeschwerden nicht nachgehen können:

---



---



---



---



---

Wir möchten Sie nun bitten, die Feststellung (nur eine) anzukreuzen, die am besten beschreibt, wie sich Ihre Atemwegsbeschwerden auf Sie auswirken:

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Sie hindern mich nicht daran, das zu tun, was ich gerne tun möchte. | Sie hindern mich an ein oder zwei Dingen, die ich gerne tun möchte. | Sie hindern mich an den meisten Dingen, die ich gerne tun möchte. | Sie hindern mich an allem, was ich gerne tun möchte. |
| <input type="checkbox"/> (0)  | <input type="checkbox"/> (1)  | <input type="checkbox"/> (2)                                      | <input type="checkbox"/> (3)                         |

## BERG BALANCE SKALA

### Berg-Balance-Skala (Katherine Berg et al. 1989)

Deutsche Version: Scherfer E<sup>1</sup>, Bohls C<sup>2</sup>, Freiburger E<sup>3</sup>, Heise KF<sup>4</sup>, Hogan D<sup>5</sup>

Name:

Datum:

Einrichtung/Ort der Durchführung:

Tester:

| Item-Nr. | Kurztitel des Items                                   | Bewertung 0 - 4 |
|----------|---|-----------------|
| 1.       | Vom Sitzen zum Stehen                                 |                 |
| 2.       | Stehen ohne Unterstützung                             |                 |
| 3.       | Sitzen ohne Unterstützung                             |                 |
| 4.       | Vom Stehen zum Sitzen                                 |                 |
| 5.       | Transfers   |                 |
| 6.       | Stehen mit geschlossenen Augen                        |                 |
| 7.       | Stehen mit Füßen dicht nebeneinander (enger Fußstand) |                 |
| 8.       | Mit ausgestrecktem Arm nach vorne reichen/langen      |                 |
| 9.       | Gegenstand vom Boden aufheben                         |                 |
| 10.      | Sich umdrehen, um nach hinten zu schauen              |                 |
| 11.      | Sich um 360° drehen                                   |                 |
| 12.      | Abwechselnd die Füße auf eine Fußbank stellen         |                 |
| 13.      | Stehen mit einem Fuß vor dem anderen (Tandemstand)    |                 |
| 14.      | Auf einem Bein stehen (Einbeinstand)                  |                 |
|          | Summe der Punkte:                                     |                 |

<sup>1</sup> Physioth., Dipl.-Soz.Wiss, Dr. rer. soc. Physio-Akademie des ZVK, Wremen

<sup>2</sup> Physioth., MSc Neurorehab., Dresden

<sup>3</sup> Dipl.-Sportwiss., Dr. Sportwiss.; Institut für Sportwiss., Universität Erlangen

<sup>4</sup> Physioth., BSc, MSc Neurophysioth., Promotionsstudentin an der Sporthochschule Köln

<sup>5</sup> Physioth., Marienhospital Gelsenkirchen-Ückendorf



## DANKSAGUNGEN

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht zu Stande gekommen wäre.

Prof. Dr. Rembert Koczulla und Dr. Dr. Tobias Boeselt danke ich für die Bereitstellung des Projekts. PD Dr. Marc Spielmanns gilt mein besonderer Dank. Er ermöglichte die Umsetzung der Studie im St. Remigius Krankenhaus Opladen. Weiterhin hat er mich mit seiner fachlichen Kompetenz und viel Geduld unterstützt. Dr. Christoph Nell danke ich für seine Einführung und Unterstützung bei der Auswertung der Ergebnisse und seine hilfreichen Korrekturen.

Weiterhin möchte ich mich bei Henryk Polanski bedanken, der das Training mit den Probanden durchführte. Er war einer der Gründe, dass diese so gerne zum Training kamen.

Birgit Imm und Gerlinde Schumacher bin ich zu großem Dank verpflichtet. Mit ihrer langjährigen Erfahrung und genauen Arbeitsweise halfen sie mir an zahlreichen Tagen bei den Lungenfunktionsmessungen und der einen oder anderen Blutentnahme.

Auch danke ich Esra Özdemir und Birgit Jochheim. Sie unterstützen mich bei der Kontaktaufnahme mit den potenziellen Probanden. Nora Eismann, Ulla Steger und Madlen Kaldirim danke ich für motivierende Worte und Korrekturen. Danke auch an Jan Steger für sein offenes Ohr und seine beruhigenden Worte in den zahlreichen Situationen, in denen mich die Panik überfiel.

Den größten Dank spreche ich jedoch meinen lieben Eltern Elena Azernikova und Valentin Klutsch aus. Sie sind immer für mich da. Sie leisteten mir Tag für Tag seelischen Beistand, munterten mich auf, wenn mich jegliche Motivation verlassen hatte und waren geduldig, wenn ich es nicht war. Sie versuchten alles andere herum für mich einfacher zu machen, damit ich mich auf Studium und Promotion konzentrieren konnte. Ich danke Euch!

## LEBENS LAUF

Anja Klutsch

Geboren am 21.10.1992 in St. Petersburg, Russland

### Hochschulausbildung

Oktober 2017

Oktober 2014

Seit 2012

2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

Universität zu Köln, Studium der  
Humanmedizin

### Famulaturen

2017

2016

2016

2015

2015

Allgemeinmedizin, Praxis Storb, Köln

Psychiatrie, LVR-Klinik, Köln

Anästhesiologie, Heilig-Geist Krankenhaus  
Köln

Innere Medizin, St. Vinzenz Hospital, Köln

Innere Medizin, St. Remigius Krankenhaus  
Opladen

### Praktisches Jahr

Januar - April 2019

September - Dezember 2018

Juli - September 2018

Mai - Juli 2018

Psychiatrie, Humboldt-Klinikum, Berlin  
(Charité)

Innere Medizin, Policlinico vecchio, Neapel  
Italien (Università Luigi Vanvitelli)

Chirurgie, Kreiskrankenhaus Dormagen  
(Universität Köln)

Chirurgie, Royal Bristol Infirmary, Bristol,  
Großbritannien (Bristol University)

## **Promotion**

Seit 2015

Dissertation in der Pneumologie,  
Prof. Dr. Vogelmeier, Marburg:  
*„Auswirkungen von Ganzkörper-  
vibrationstraining auf die körperliche  
Leistungsfähigkeit von COPD-Patienten“*

## **Zusatzqualifikationen**

Fremdsprachen: Russisch, Englisch, Italienisch,  
Deutschlandstipendiatin 2017/2018  
Studentische Kolumne im Rheinischen Ärzteblatt

Köln, 20.01.2020

## EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Einfluss des Ganzkörpervibrationstrainings auf die körperliche Leistungsfähigkeit von Patienten mit milder bis schwerer COPD“ in der Klinik für Innere Medizin mit dem Schwerpunkt Pneumologie unter der Leitung von Prof. Dr. med. C. F. Vogelmeier mit Unterstützung von Prof. Dr. med. A. R. Koczulla ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher weder an einem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Ich versichere, dass ich sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate kenntlich gemacht habe.

Mit dem Einsatz von Software zur Erkennung von Plagiaten bin ich einverstanden.

Vorliegende Arbeit wurde in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

1. Marc Spielmanns MD, Tobias Boeselt PhD, Rainer Gloeckl PhD, Anja Klutsch, Henrike Fischer MD, Henryk Polanski, Christoph Nell PhD, Jan H. Storre PhD MD, Wolfram Windisch PhD MD and Andreas R. Kochzulla PhD MD, Low-Volume Whole-Body Vibration Training Improves Exercise Capacity in Subjects With Mild to Severe COPD, Respiratory Care, March 2017, Vol 62, No 3.

2. Tobias Bösel/Marburg, Marc Spielmanns, Rainer Glöckl, Anja Klutsch, Henrike Fischer, Henryk Polanski, Christoph Nell, Jan Hendrik Storre, Wolfram Windisch, Andreas Rembert Koczulla, Low volume whole body vibration training improves exercise capacity in subjects with mild to severe COPD, P191, Posterpräsentation 58. Kongress der DGP (22. bis 25.März 2017)

---

Ort, Datum, Unterschrift