

Aus der Medizinischen Klinik
Abteilung Innere Medizin V (Pneumologie, Allergologie, Beatmungs- und
Umweltmedizin)
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Robert Bals
Universitätsklinik des Saarlandes, Homburg/Saar

Klinische Auswirkungen eines Ganzkörpervibrationstrainings bei Patienten mit fortgeschrittener COPD

Dissertation zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades
der medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

2016

vorgelegt von:

Ole Lasch

geboren am 02.09.1984 in Göttingen

Dekan: Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Referent: Prof. Dr. med. Heinrike Wilkens

Jahr der Promotion: 2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einleitung.....	11
1.1 Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD).....	11
1.1.1 Definition	11
1.1.2 Epidemiologie	13
1.1.3 Einteilung / GOLD-Klassifikation	15
1.1.4 Diagnostik & Therapie	17
1.1.5 Pathophysiologie & Pathogenese	22
1.1.6 Periphere Veränderungen im Rahmen der COPD	24
1.1.7 Parameter der Leistungsfähigkeit	26
1.2 Das Vibrationstraining	28
1.2.1 Prinzip der vibratorischen Muskelstimulation	28
1.2.2 Muskuläre Veränderungen im Rahmen eines Vibrationstrainings	30
1.2.3 Klinischer Einsatz	33
1.2.4 Vorteil eines Vibrationstrainings bei obstruktiver Atemwegserkrankung....	35
1.3 Fragestellung der vorliegenden Arbeit	37
2 Material und Methodik	39
2.1 Probanden	39
2.1.1 Einschlusskriterien.....	39
2.1.2 Ausschlusskriterien / Kontraindikationen.....	39
2.1.3 Patienten	40
2.1.4 GOLD-Klassifikation	42
2.2 VibeX	42
2.2.1 Studiendesign.....	42
2.2.2 Randomisierung / RITA.....	45
2.2.3 Ablauf der Übungen.....	46
2.2.4 Behandlungsziele	47
2.2.5 Trainingsprotokolle	47
2.2.6 Abbruchkriterien	50

2.3	Klinische Testparameter	50
2.3.1	6-Minuten-Gehstrecke	50
2.3.2	Sprungplattenanalyse	52
2.3.3	BODE-Index	53
2.3.4	Modifizierter Medical-Research-Council-Score (MMRC)	55
2.3.5	Lungenfunktionsdiagnostik	55
2.3.6	Lebensqualität	58
2.3.7	Blutgasanalyse	60
2.4	Statistik	61
3	Ergebnisse	63
3.1	Studienpopulation	63
3.1.1	Basischarakteristika	63
3.2	Schrittweiten	65
3.2.1	Zusammenhang von Schrittweite und Belastung	65
3.2.2	Schrittweiten zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten	66
3.3	Klinische Testparameter	67
3.3.1	Lungenfunktionsdiagnostik	67
3.3.2	Blutgasanalyse	72
3.3.3	Schweregradeinteilungen	74
3.3.4	6-Minuten-Gehstrecke	76
3.3.5	Sprungplattenanalyse	79
3.3.6	St. George Respiratory Questionnaire	85
4	Diskussion	87
4.1	Stellenwert des Ganzkörpervibrationstrainings	87
4.2	Interpretation der erhobenen Daten	88
4.2.1	Studienpopulation	88
4.2.2	Schrittweiten	89
4.2.3	Lungenfunktionsdiagnostik	90
4.2.4	Sauerstoff-Langzeittherapie und Sauerstoffpartialdruck	90
4.2.5	Schweregradeinteilungen	92
4.2.6	6-Minuten-Gehstrecke und Borg-Skala	93
4.2.7	Sprungplattenanalyse	95
4.2.8	St. George Respiratory Questionnaire	98

4.3	Abschließende Betrachtung	99
5	Zusammenfassung.....	101
5.1	Deutsch	101
5.2	Englisch	103
	Literaturverzeichnis	105
	Danksagung.....	119

Abbildungsverzeichnis

Abb.1	Klassifikation der COPD nach GOLD 2013
Abb.2	Schweregradeinteilung der COPD nach GOLD und Stufenplan für die Prophylaxe und Langzeittherapie
Abb.3	Teufelskreis der COPD, modifiziert nach ZuWallack, 2007
Abb.4	Anthropometrische Daten der Kontrollgruppe
Abb.5	Anthropometrische Daten der Trainingsgruppe
Abb.6	Studiendesign
Abb.7	Untersuchungen zu den einzelnen Evaluationszeitpunkten
Abb.8	Trainingsprotokoll
Abb.9	Parameter und zugeteilte Punktwerte des BODE-Index
Abb.10	Modifizierter Medical-Research-Council-Score (MMRC)
Abb.11	Parameter der Lungenfunktionsdiagnostik
Abb.12	Parameter der Blutgasanalyse
Abb.13	Kreuztabelle der Drop-outs der Probandengruppen
Abb.14	Kreuztabelle der geschlechterspezifischen Drop-outs
Abb.15	Altersverteilung der Probandengruppen
Abb.16	Kreuztabelle der Geschlechterverteilung der Probandengruppen
Abb.17	Zusammenhang von Schrittweite und Belastung
Abb.18	Fehlerbalkendiagramm der Schrittweiten
Abb.19	FEV1 in % vom Soll zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
Abb.20	Tiffeneau-Test in % zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
Abb.21	RV in % vom Soll zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
Abb.22	TLC in % vom Soll zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
Abb.23	LTOT in l zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
Abb.24	pO ₂ in mmHg zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
Abb.25	Veränderungen des BODE-Scores im Verlauf
Abb.26	MMRC zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

- Abb.27 6MWD in m \pm 1 SD beider Gruppen zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
- Abb.28 Δ EOS-BL, 6MWD in m
- Abb.29 Veränderungen der Borg-Skala im Verlauf
- Abb.30 Relative maximale Leistung des S2LJ in W/kg
- Abb.31 Δ EOS-BL, Relative maximale Leistung des S2LJ in W/kg
- Abb.32 Δ FU1-BL, Relative maximale Leistung des S2LJ in W/kg
- Abb.33 Δ EOS-BL, Maximale Leistung des S2LJ in W
- Abb.34 Δ FU1-BL, Maximale Leistung des S2LJ in W
- Abb.35 Pmax in kW des CRT zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten
- Abb.36 Δ EOS-BL, Relative maximale Leistung des CRT in W/kg
- Abb.37 Zeit pro Test in s des CRT zu den Untersuchungszeitpunkten
- Abb.38 Δ EOS-BL, SGRQ exklusive Ausreißer
- Abb.39 Mittelwerte des Gesamtscore des SGRQ der Trainingsgruppe

Abkürzungsverzeichnis

6MWD:	6-Minute-Walking-Distance / 6-Minuten-Gehstrecke
BGA:	Blutgasanalyse
BL:	Baseline
BMI:	Body-Mass-Index / Körpermasseindex
BOLD:	Burden of Obstructive Lung Disease
BP:	Belastungsphase
CAT:	COPD Assessment Test
CD:	Cool-down
CO ₂ :	Kohlendioxid
CoP:	Center of Pressure / Kraft-Einleit-Punkt
COPD:	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CRT:	Chair-Rising-Test / Aufstehtest
DLTx:	bilaterale Lungentransplantation
EMG:	Elektromyographie
EOS:	End of Study
FEV ₁ :	Forcierte Einsekundenkapazität
FU:	Follow up
FVC:	Forcierte Vitalkapazität
GOLD:	Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease
Hz:	Hertz
IL-6:	Interleukin 6
kg:	Kilogramm
KG:	Körpergewicht in Kilogramm
KHK:	Koronare Herzkrankheit
kW:	Kilowatt
l:	Liter
LPI:	Leistungs-Puls-Index

Abkürzungsverzeichnis

LTOT:	Long-term oxygen therapy / Sauerstoff-Langzeittherapie
LVR:	chirurgische Lungenvolumenreduktion
m:	Meter
mmHg:	Millimeter Quecksilbersäule, Druckeinheit
MMRC:	modifizierter Medical-Research-Council-Score
NETT:	National Emphysema Treatment Trial
O ₂ :	Sauerstoff
pCO ₂ :	Kohlendioxidpartialdruck in mmHg
PEF:	Peak-Expiratory-Flow
P _{max} :	Maximale Leistung in Watt
P _{max rel.} :	relative maximale Leistung in W/kg
pO ₂ :	Sauerstoffpartialdruck in mmHg
RITA:	Randomization In Treatment Arms, Software
RR:	Relatives Risiko
RV:	Residualvolumen
s:	Sekunden
S2LJ:	Single-2-Leg-Jump / Sprung maximaler Höhe
SAE:	Serious adverse Event
SD:	Standardabweichung
SGRQ:	St. George Respiratory Questionnaire
STLx:	Einzellungen-Transplantation
TLC:	Totale Lungkapazität
TVR:	Tonic-Vibration-Reflex
VC:	Vital capacity / Vitalkapazität
W:	Watt
WBV:	Whole-Body-Vibration
WU:	Warm-up
z.B.:	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)

1.1.1 Definition

Die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) ist eine meist vermeidbare und behandelbare Krankheit, charakterisiert durch eine Einschränkung der Lungenventilation, die nicht vollständig reversibel ist. Dabei ist die Einschränkung der Lungenventilation progressiv und mit einer abnormen Entzündungsreaktion in den Lungen als Antwort auf inhalative Noxen und Gase assoziiert. [Celli et al, 2005] Die Erkrankung hat sehr unterschiedliche Phänotypen. [Postma et al, 2015] Aufgrund des demographischen Wandels wird die COPD in den kommenden Jahrzehnten weiter an Bedeutung gewinnen. Bereits im Jahre 2020 wird diese Erkrankung in der weltweiten Todesursachenstatistik schätzungsweise den dritten Rang belegen. Neben Prävention und medikamentöser Therapie steht als nicht-medikamentöse Therapieoption das körperliche Training im Mittelpunkt der gegenwärtigen wissenschaftlichen Betrachtung.

Die COPD ist ein sehr heterogenes Krankheitsbild, das sich aus einer Gruppe von Erkrankungen zusammensetzt; chronische Bronchitis, obstruktive Bronchiolitis und Lungenemphysem stellen dabei die wichtigsten Komponenten dieser Erkrankung dar.

Die klinische Definition der chronischen Bronchitis ist erfüllt, wenn bei einem Patienten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten an den meisten Tagen produktiver Husten (Husten+Auswurf) vorherrscht und andere Ursachen des produktiven Hustens ausgeschlossen werden konnten. [American Thoracic Society, 1962]

Das Lungenemphysem ist als abnorme, permanente Erweiterung der Luftwege distal der terminalen Bronchien (Bronchioli terminales) infolge Destruktion des elastischen Gerüsts dieser Strukturen definiert. [Albert et al, 2008]

Die obstruktive Bronchiolitis oder „small airways disease“, resultierend aus Entzündungen, Hypersekretion und Veränderungen der distalen Atemwege wie Fibrose, Metaplasie oder Proliferation glatter Muskelzellen, betrifft Bronchiolen mit einem Durchmesser $\leq 2\text{cm}$ und führt zu einem Anstieg des peripheren Atemwegswiderstandes. Sie ist eine der frühesten zu beobachtenden Veränderungen im Rahmen dieser Erkrankung und basiert im Wesentlichen auf folgenden Veränderungen:

- Destruktion der alveolären Steifigkeit
- Verlust der elastischen Rückstellkräfte des Parenchyms
- Okklusion des bronchialen Lumens durch Mukus und Zellproliferation [Albert et al, 2008]

Ein vermehrtes Auftreten dieses Krankheitsbildes bei Rauchern deutet dabei auf inhalative Noxen als Ursache. [McGraw-Hill Concise Dictionary of Modern Medicine, 2002]

Dies führt zu der Empfehlung, dass bei jedem Patienten, der Risikofaktoren wie Rauchen oder beruflich bedingter aerogener Schadstoffexposition ausgesetzt ist und Leitsymptome wie Husten, Auswurf und Dyspnoe aufweist, an eine COPD gedacht werden muss.

Die Diagnose einer COPD erfordert neben dem Vorhandensein klinischer Symptomatik die objektive Bestimmung der Ventilationseinschränkung mittels Spirometrie.

Dabei gilt ein Wert von $FEV_1/FVC \leq 0,7$ nach Gabe eines Bronchodilatators als Nachweis für eine nicht vollständig reversible Atemwegsobstruktion und damit als objektiver diagnostischer Nachweis einer COPD in Abgrenzung zum Asthma bronchiale. [GOLD, 2015]

Die COPD beschreibt ein Krankheitsbild, das durch eine Vielzahl existierender Definitionen Heterogenität aufweist. Es ergeben sich jedoch durch die Gemeinsamkeiten der Symptomkonstellationen, Krankheitsursachen, Pathogenese und Einteilung auch Parallelen, die das Krankheitsbild der COPD konkretisieren.

Die COPD stellt eine Krankheit dar, deren klinisches Erscheinungsbild abhängig ist vom Ausmaß der Ventilationsstörung, einer Reihe pathologischer Veränderungen in der Lunge, extrapulmonaler Effekte und Komorbiditäten, welche das Ausmaß der Erkrankung maßgeblich mitbestimmen. Dabei sollte die COPD zwar als Krankheit des respiratorischen Systems angesehen werden, jedoch sollten die Komorbiditäten in den Prozess der Diagnosefindung und der Therapieplanung unter entscheidender Berücksichtigung eingebunden werden. [GOLD 2015]

Eine Abgrenzung der Komorbiditäten zu den Folgen bzw. systemischen Manifestationen der Erkrankung ist sinnvoll, gelingt jedoch nicht immer. Ausgangspunkt dieser Betrachtung ist die Frage, ob die systemischen Manifestationen der COPD als Folge eines Übertrittes von Entzündungsmediatoren in den Kreislauf entstehen oder ob die COPD und deren pulmonale Schädigungsmechanismen als Ausdruck einer systemischen Entzündungsreaktion verstanden werden. Die Beantwortung dieser Frage, aus der sich auch weitreichende therapeutische Konsequenzen ergeben, ist derzeit nicht abschließend geklärt und bedarf zukünftiger Forschung und Studien. [Barnes et al, 2009]

Als Folge der Erkrankung lassen sich nach derzeitigem Wissensstand in erster Linie systemische Manifestationen des Übertrittes von Entzündungsmediatoren in den Kreislauf darstellen. Zu diesen zählen der Abbau von Skelettmuskulatur sowie die Kachexie.

Zu den pulmonalen und extrapulmonalen Komorbiditäten zählen Osteoporose, Depression, Gewichtsverlust, kardiovaskuläre Erkrankungen und der Verlust an fettfreier Masse samt der damit einhergehenden Muskeldysfunktion. Dabei ist zu beachten, dass die drei letztgenannten Komorbiditäten Prädiktoren für die Mortalität von Patienten mit COPD darstellen. [Watz et al, 2006]

1.1.2 Epidemiologie

Die Prävalenz der COPD, ihre Mortalität und Morbidität variieren von Land zu Land sehr stark. Zum einen machen es die unterschiedlichen Definitionen und der

Mangel an Übereinstimmungen im Bezug auf die definierenden Spirometriewerte sehr schwer, die wahre Mortalität und Morbidität dieser Erkrankung zu quantifizieren. Zum anderen ist die Aussagekraft der Daten zur Prävalenz dieser Erkrankung dadurch eingeschränkt, dass die Diagnose der COPD bei den meisten Patienten erst nach erfolgter Hospitalisation gestellt wird und somit fast ausschließlich Patienten in einem fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung von der Statistik erfasst werden.

Die COPD befindet sich weltweit auf dem Vormarsch. In den Vereinigten Staaten leiden schätzungsweise 14 Millionen Menschen an einer COPD, was einen Anstieg der Krankheitshäufigkeit um 42% seit 1982 bedeutet. [Albert et al, 2008]

Im Jahre 2006 gaben Halbert et al. unter Zuhilfenahme einer Metaanalyse, die Daten von 37 Studien aus 28 unterschiedlichen Ländern enthielt, die durchschnittliche Prävalenz der COPD mit 7,6% an. [Halbert et al, 2006]

In der Statistik der häufigsten Todesursachen belegte die COPD im Jahre 1990 noch den sechsten Platz. Im Jahre 2020 wird sie wahrscheinlich direkt nach kardiovaskulären Erkrankungen und Schlaganfall die dritthäufigste Todesursache weltweit sein. [Murray et al, 1996]

Die Problematik der methodischen Unterschiede und der Mängel in der regionalen Datenerhebung, die eine exakte und zuverlässige Aussage über die Prävalenz dieser Erkrankung bisher nicht zuließen, versucht die internationale Erhebung „Burden of Obstructive Lung Disease“ (BOLD) zu korrigieren. [Buist et al, 2007]

Die BOLD-Initiative sammelt länderspezifische Daten bezüglich der Prävalenz, der Risikofaktoren sowie der sozialen und ökonomischen Lasten, die dieser Erkrankung zugrunde liegen. Dabei liegt ein großes Augenmerk auf der Verwendung standardisierter Testmethoden, um mittels identischer Durchführung der Studie eine international vergleichbare Aussage über die Prävalenz der COPD in den einzelnen Ländern tätigen zu können, unabhängig von deren Entwicklungsstufe oder Möglichkeit der Datenerhebung.

In Deutschland führte die Durchführung der BOLD-Studie zu einer Verbesserung der Mängel in der sozioökonomischen Datenerhebung.

Es konnte gezeigt werden, dass in Deutschland die Prävalenz der COPD bei 13,2% liegt. Dabei gehören 7,4% zur Klassifikation GOLD I, 5,0% GOLD II und 0,8% entfallen auf die Klassen Gold III und IV. [Geldmacher et al, 2008]

1.1.3 Einteilung / GOLD-Klassifikation

Es existieren nationale und internationale Einteilungen der COPD, die inhaltliche Unterschiede aufweisen und sich an den Werten der Lungenfunktionsdiagnostik, Symptomen und Zahl der Exazerbationen orientieren.

Der Lungenfunktionsdiagnostik dient:

- Spirometrie zur Messung der Lungenvolumina und Atemstromstärke
- Ganzkörperplethysmographie zur Bestimmung des Atemwegwiderstandes und des intrathorakalen Gasvolumens
- Analyse von Fluss-Volumen-Kurven

Von den verfügbaren Kenngrößen der Obstruktion sind die Messung der forcierten Einsekundenkapazität (FEV₁), der Vitalkapazität (VC) und die Bestimmung des Verhältnisses FEV₁/VC die Kenngrößen mit der größten Evidenz zur Feststellung des Ausmaßes der Obstruktion und Charakterisierung der COPD. Während die hiesigen Leitlinien die VC zur Definition der Obstruktion verwenden, definiert die Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD), eine seit 1998 bestehende Expertenkommission, die Obstruktion durch das Verhältnis der FEV₁ zur FVC. [Vogelmeier et al, 2007]

Die Klassifikation der GOLD richtet sich nach dem Schweregrad der Obstruktion, basierend auf spirometrischen Messungen und unterteilt sich in 4 Stadien. Dabei ist zu erwähnen, dass die Durchführung der Spirometrie nach Gabe einer adäquaten Dosis eines inhalativen Bronchodilatators (Salbutamol 400µg) erfolgen sollte, um die Variabilität zu minimieren. [Pellegrini et al, 2005]

Obwohl die Einteilung mittels GOLD-Klassifikation die altersbedingten Veränderungen der Lungenvolumina nicht berücksichtigt und somit zu einer Überdiagnose der Erkrankung bei älteren Menschen und einer Unterdiagnose bei jüngeren Menschen besonders im Schweregrad GOLD I führt, hat sich diese

Einteilung nach GOLD mittels spirometrisch erhobener Daten im klinischen Alltag bewährt.

Eine aktuelle Einteilung der COPD durch die Expertenkommission der GOLD aus dem Jahre 2013 verlässt die unidimensionale Einteilung der COPD gemessen an dem Schweregrad der Atemwegsobstruktion. Aktuell erfolgt eine kombinierte Bewertung der Symptomatik des Patienten zusammen mit den Ergebnissen der Spirometrie und dem zukünftigen Risiko einer Exazerbation der Erkrankung. Diese Betrachtungsweise spiegelt die Komplexität der Erkrankung wider und erlaubt ein individualisiertes Krankheitsmanagement.

Risiko Schwere der Obstruktion (GOLD-Stadium anhand der FEV ₁)	4	Patient C	Patient D	Risiko Exazerbationen im letzten Jahr	
	3	hohes Risiko wenig Symptome	hohes Risiko mehr Symptome		≥ 2
	2	Patient A	Patient B		
	1	geringes Risiko wenig Symptome	geringes Risiko mehr Symptome		1 0
		mMRC 0-1 CAT < 10	mMRC ≥ 2 CAT ≥ 10		
		Symptome			

Abbildung 1: Klassifikation der COPD nach GOLD 2013

Zur Darstellung der Symptome dienen die krankheitsspezifischen Fragebögen Modifizierter Medical-Research-Council-Score (MMRC) oder COPD Assessment Test (CAT). Es erfolgt hierbei die Zuteilung der Patienten mit wenig Symptomen in

die linke Spalte des Quadrats, diejenigen mit vielen Symptomen in die rechte Spalte des Quadrats.

Zur Darstellung des Risikos einer akuten Exazerbation kann neben der patientenspezifischen Häufigkeit an vergangenen Exazerbationen auch die unidimensionale spirometrische GOLD-Klassifikation verwendet werden. Es erfolgt die Einteilung der Patienten je nach Risiko einer zukünftigen Exazerbation in die obere Spalte des Quadrats bei hohem Risiko und in die untere Spalte des Quadrates bei geringem Risiko.

Eine Krankheitsexazerbation ist definiert als ein akutes Ereignis, das zu einer Verschlechterung des Allgemeinzustands des Patienten führt und eine zusätzliche Behandlung bedingt. [Burge et al, 2003]

Anhand dieses Schemas erfolgte die Zuteilung der Patienten zu einer der 4 Gruppen:

Patient Gruppe A: geringes Risiko, wenig Symptome

Patient Gruppe B: geringes Risiko, mehr Symptome

Patient Gruppe C: hohes Risiko, wenig Symptome

Patient Gruppe D: hohes Risiko, mehr Symptome

Vor Aufnahme des Vibrationstrainings gehörten alle Teilnehmer (n=19) der Patientengruppe D an. Nach Abschluss des Trainings gehörten zwei Teilnehmer der Patientengruppe C und 15 der Gruppe D an.

1.1.4 Diagnostik & Therapie

Die Diagnostik der COPD basiert auf einer Vielzahl anamnestischer Angaben, klinischer Beobachtungen und erhobener Messwerte. Die Grundlage bildet dabei die Erhebung einer ausführlichen Anamnese, die folgende Fragestellungen beinhalten sollte: charakteristische Symptome, Stratifizierung von Risikofaktoren mit Familien- und Berufsanamnese sowie Verlauf und Intensität der Symptomatik. Die anschließende körperliche Untersuchung, bestehend aus Inspektion,

Palpation, Auskultation und Perkussion, dient der klinischen Orientierung des Untersuchers, wobei in frühen Stadien nicht zwangsläufig pathologische Veränderungen zu beobachten sind.

Des Weiteren ist die Diagnostik der COPD an den objektiven und reproduzierbaren Nachweis einer Atemflussbehinderung mittels Lungenfunktionsdiagnostik gekoppelt. Deren Nachweis kann durch Spirometrie, Ganzkörperplethysmographie und Analyse von Fluss-Volumen Diagrammen erbracht werden.

Von den verfügbaren Kenngrößen der Lungenfunktionsdiagnostik sind die FEV₁, VC und FVC die Parameter mit dem höchsten Evidenzgrad, mittels derer die Erkrankung diagnostiziert und einem definierten GOLD-Stadium zugeordnet werden kann. [Vogelmeier et al, 2002]

Die Diagnostik dieser Erkrankung erfordert im Rahmen differentialdiagnostischer Überlegungen weitere apparative und klinische Untersuchungsmethoden wie einen Reversibilitätstest mit Bronchodilatoren zur Abgrenzung eines Asthma bronchiale, eine Blutgasanalyse zur Quantifizierung einer arteriellen Hypoxämie und Hyperkapnie, einen Belastungstest wie z.B. die 6-Minuten-Gehstrecke, eine Bildgebung mittels Röntgenaufnahme und Computertomographie der Thoraxorgane zur Quantifizierung und Beurteilung eines Lungenemphysems sowie ein Elektrokardiogramm und eine Echokardiographie zur Beurteilung geeigneter Kenngrößen einer Rechtsherzbelastung bzw. eines Cor pulmonale im Rahmen einer pulmonalen Hypertonie. [Niedermeier et al, 1998]

Die Vielzahl an diagnostischen Untersuchungen ermöglicht eine detaillierte Darstellung des Krankheitsverlaufs, wobei wegen der Progression der Erkrankung eine Reevaluation in regelmäßigen Abständen sinnvoll erscheint. Sie dient auch der Erfassung von intermittierenden Verschlechterungen der Krankheitssymptome im Rahmen von akuten Exazerbationen, die eine entscheidende Einflussgröße auf die Prognose und Lebensqualität der Patienten darstellen. Bei der jährlichen Reevaluation sollte ein besonderes Augenmerk auf die Schadstoffkarenz, die aktuelle Medikation, neu aufgetretene Komorbiditäten sowie die Werte der Lungenfunktionsdiagnostik und arteriellen Blutgasanalyse gelegt werden.

Weiterhin sollte eine Dokumentation der Anzahl stattgehabter Exazerbationen und des Body-Mass-Index (BMI) erfolgen [Vogelmeier et al, 2007]

Die Therapie der COPD folgt einem multimodalen Konzept, bestehend aus Prävention, medikamentöser Therapie, Physiotherapie bzw. körperlichem Training, apparativen Therapieoptionen und in seltenen Fällen operativer Therapie.

Die Prävention zielt in erster Linie auf die Limitierung inhalativer Noxen. Wichtigste Maßnahmen stellen multimodale Raucherentwöhnungsprogramme, die Schaffung rauchfreier Arbeitsplätze sowie Schulung und Aufklärung des sozialen Umfeldes dar. Sie dient der Beseitigung von Risikofaktoren, wobei der Verzicht auf das Tabakrauchen die effektivste Einzelmaßnahme zur Reduktion des COPD-Risikos und der Progression der bereits eingetretenen Erkrankung darstellt. [Albert et al, 2008]

Die medikamentöse Therapie der COPD folgt einem Stufenschema, das sich an den jeweiligen individuellen Werten der FEV1 (% Soll) und dem Tiffeneau-Index (FEV1 % VC) und damit den GOLD-Stadien orientiert. Dabei bleibt festzuhalten, dass die derzeitigen medikamentösen Therapieoptionen die Progression der Lungenfunktionseinschränkung nicht beeinflussen zu vermögen. [Anthonisen et al, 1994] [Vestbo et al, 1999]

Die Primärziele der Pharmakotherapie sind Symptomverbesserung, Steigerung der Lebensqualität durch Zunahme der Leistungsfähigkeit und Prävention von Exazerbationen.

Als medikamentöse Therapieoptionen stehen zur Verfügung:

- inhalative oder systemische Glukokortikoide
- inhalative oder systemische Bronchodilatoren (lang und kurz wirksame Beta2-Sympathomimetika, Anticholinergika, Methylxanthine)
- Phosphodiesterase-4-Inhibitoren
- Mukolytika

Schweregrad	FEV1 % Soll	Therapie
GOLD 1: leicht	≥ 80	-Vermeidung von Risikofaktoren -Grippe- und Pneumokokkenschutzimpfung -bei Bedarf kurzwirksame Bronchodilatoren
GOLD 2: mittel	50 - 79	- <u>Zusätzlich</u> : Dauertherapie mit langwirksamen Bronchodilatoren -Rehabilitation
GOLD 3: schwer	30 - 49	- <u>Zusätzlich</u> : inhalative Glukokortikoide bei wiederkehrenden Exazerbationen
GOLD 4: sehr schwer	<30	- <u>Zusätzlich</u> : Sauerstoff-Langzeittherapie bei respiratorischer Insuffizienz -Prüfung ob chirurgische Intervention angezeigt ist

Abbildung 2: Schweregradeinteilung der COPD nach GOLD und Stufenplan für die Prophylaxe und Langzeittherapie [Vogelmeier et al, 2007]

Das körperliche Training bzw. individuelle Rehabilitationsprogramme stellen eine weitere wichtige Grundlage der multimodalen Therapie dar. Anhand von Metaanalysen konnte gezeigt werden, dass Patienten in jedem Krankheitsstadium von einem Rehabilitationsprogramm profitieren. Sowohl die Lebensqualität als auch die Belastungstoleranz verbesserten sich bei Patienten unter körperlichem Training in einem Maße, wie es durch keinerlei andere Intervention zu beobachten gewesen ist. [Troosters et al, 2005]

In einer aktuellen Forschungsarbeit aus dem Jahr 2015 wurde der Einfluss einer familiären Einbindung in die jeweiligen Rehabilitationsprogramme untersucht. Marques et al. zeigten, dass durch Einbezug der Familie in ein individuelles Rehabilitationsprogramm sowohl die Patienten als auch die Familienangehörigen

eine deutlich bessere Krankheitsbewältigung und –verarbeitung erreichten. [Marques et al, 2015]

Unter den apparativen Therapieoptionen zählt die Sauerstoff-Langzeittherapie (LTOT) zu den effektivsten Behandlungsmethoden. Entsprechend dem Stufenplan der Langzeittherapie der COPD stellt die chronische Hypoxämie ($pO_2 < 53$ mmHg) bei Patienten im GOLD-Stadium IV eine absolute Indikation zur Einleitung einer LTOT dar.

In älteren Studien wurde gezeigt, dass die LTOT zu einer signifikanten Verbesserung der Luftnot und der Leistungsfähigkeit bei Patienten mit chronisch respiratorischer Insuffizienz führt. [Leach et al, 1992]

Des Weiteren führt sie bei Patienten mit respiratorischer Insuffizienz infolge einer COPD sowohl zu einer Verbesserung der Prognose als auch zu einer verminderten Progression der pulmonalen Hypertonie.

[Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group, 1980] [Weizenblum et al, 1985]

Als ultima ratio in der Behandlung der COPD steht die chirurgische Intervention für Patienten im GOLD-Stadium IV zur Verfügung. Die Bullektomie, die bei großen, mindestens 50 % des Hemithorax einnehmenden Bullae bzw. das benachbarte Gewebe komprimierenden Bullae indiziert ist, führt zu einer Verbesserung der Lungenfunktion und einer Abnahme der Dyspnoe. Alternativ zur Bullektomie steht die chirurgische Lungenvolumenreduktion (LVR) und die Lungentransplantation zur Verfügung. [Mehran et al, 1995]

Bezüglich der LVR konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit einem fortgeschrittenen Lungenemphysem, die die Einschlusskriterien für eine LVR erfüllen (Oberlappen betontes Emphysem und geringe Leistungsfähigkeit), die chirurgische Therapie gegenüber der konservativen Therapie zu einer signifikanten Verbesserung der Luftnot, Lungenfunktion und Leistungsfähigkeit führt. [Wilkens et al, 2000]

Im National Emphysema Treatment Trial (NETT), einer randomisierten, prospektiven, klinischen Studie, wurde die operative Lungenvolumenreduktion in Kombination mit medikamentöser Therapie mit einer rein medikamentösen Therapie verglichen. Diese Studie zeigte, dass die 3-Monats-Sterblichkeit in der

operierten Gruppe signifikant höher lag als in der konservativ behandelten Gruppe. Ein signifikanter Vorteil der operativen Therapie bezüglich Belastbarkeit und Prognose zeigte sich lediglich in einer Patientensubgruppe mit Oberlappenbetontem Emphysem. [The National Emphysema Treatment Trial Research Group, 1999]

Anhand aktueller Daten, deren Grundlage die NETT bildet, konnte gezeigt werden, dass bei einem Follow up von 6 Jahren die Kombination aus LVR und medikamentöser Therapie der rein medikamentösen Therapie bezüglich Lebensqualität und qualitätskorrigierter Lebensjahre (quality adjusted life year) überlegen ist. [Kaplan et al, 2015]

Die COPD im Endstadium stellt weltweit die häufigste Indikation zur Lungentransplantation dar. [Trulock et al, 2005] Ein Überlebensvorteil im Vergleich zur konservativen Therapie ist dabei nicht für alle Patienten mit COPD gegeben. [Hosenpud et al, 1998] Der Eingriff kann als Einzellungen-Transplantation (SLTx) oder als sequentiell bilaterale Lungentransplantation (DLTx) durchgeführt werden. Weltweit wird bei COPD die SLTx häufiger als die DLTx durchgeführt, allerdings ist die Langzeitprognose nach DLTx etwas besser als nach SLTx, so dass die Zahl der DLTx kontinuierlich steigt. Aufgrund der besseren funktionellen Ergebnisse zeigt sich auch in den deutschen Zentren in den letzten Jahren eine Tendenz zur DLTx bei COPD. [Wilkens, 2007]

Weitere Optionen, die im Rahmen einer Sekundärprophylaxe der COPD bedacht werden sollten, stellen Schutzimpfungen v.a. gegen Influenza und Pneumokokken, Ernährungsberatung, Patientenschulung im Rahmen eines Trainings zum Selbstmanagement der Erkrankung sowie pneumologische Rehabilitation in ambulanter oder stationärer Form dar.

1.1.5 Pathophysiologie & Pathogenese

Da die COPD keine einzelne Entität, sondern ein Sammelbegriff verschiedener Erkrankungen ist und verschiedene zelluläre Komponenten betrifft, ist die Pathogenese dementsprechend vielfältig und komplex. Die pathophysiologische

Basis dieser Erkrankung bildet die chronische bronchopulmonale Entzündungsreaktion, hervorgerufen durch endogene und/oder exogene Faktoren. [Gillisen, 2003] [Postma et al, 2015]

Im Rahmen dieser chronischen bronchopulmonalen Entzündungsreaktionen manifestieren sich die pathologischen Veränderungen in unterschiedlichen Teilen der Lunge. Betroffen sind in erster Linie das Lungenparenchym, die Luftwege und die pulmonalen Gefäßstrukturen. Kennzeichnend für die bronchopulmonale Entzündungsreaktion ist ein Umbauprozess der Atemwege, der zusammen mit einer Mukushypersekretion zu einer strukturellen und funktionellen Obstruktion der Atemwege führt. Dabei ist die Obstruktion bedingt durch Mechanismen wie Remodeling bzw. Fibrosierung, Parenchymverlust, mukoziliäre Dysfunktion, bronchiale Instabilität durch verstärkte Proteasenaktivität und unspezifische bronchiale Hyperreaktivität, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Der Pathomechanismus der Erkrankung umfasst im Wesentlichen folgende Säulen: [GOLD, 2015]

Oxidativer Stress als Resultat einer erhöhten Belastung durch inhalierte Oxidantien und generierte Sauerstoffradikale spielt eine entscheidende Rolle in der Pathogenese der COPD. Neben der Inaktivierung von Antiproteasen und Surfactant kommt es durch den oxidativen Stress zu einer Mukushypersekretion, Peroxidation von Membranlipiden, Verletzung des Alveolarepithels, Remodeling der extrazellulären Matrix sowie Apoptose. [Rahman 2005]

Das Proteasen-Antiproteasen Ungleichgewicht zugunsten der Proteasen spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle in der Pathogenese dieser Erkrankung. Diese Enzyme, freigesetzt von neutrophilen Granulozyten, sind in der Lage Strukturen des Lungengerüsts zu schädigen und aufzulösen. In der gesunden Lunge wirken dieser Selbstverdauung die Antiproteasen, v.a. das Alpha-1-Antitrypsin entgegen. Sind diese Antiproteasen jedoch durch oxidative Vorgänge geschädigt oder überwiegen im Rahmen eines Infektes die Proteasen, steht der Selbstverdauung der Lunge kein natürlicher Schutzmechanismus entgegen. Es resultiert in der Endstrecke die Destruktion von Gewebe durch eine fortgesetzte

Entzündungsreaktion mit konsekutiver Überblähung der Lunge als Lungenemphysem.

Entzündungsmediatoren, die in einer großen Vielfalt im Rahmen der COPD nachgewiesen werden konnten, ziehen Entzündungszellen aus dem Kreislauf durch Chemotaxis an. Sie verstärken den Entzündungsprozess durch proinflammatorische Zytokine und induzieren durch Anstieg von Wachstumsfaktoren strukturelle Veränderungen im Lungengerüst. [GOLD, 2015] Des Weiteren tritt im Rahmen der Entzündungsreaktion eine fixierte Verengung der distalen Luftwege und eine Zerstörung der Alveolarwände auf.

Die Entzündung führt zum Einwandern von Abwehrzellen ins Lungengewebe. Die Folge ist neben einem charakteristischen Anstieg von Zytokinen, Chemokinen und Wachstumsfaktoren auch eine numerische Erhöhung der Alveolarmakrophagen, neutrophilen- und zytotoxischen T-Lymphozyten. Ein erhöhtes Level an oxidativem Stress scheint diese Entzündungsreaktion zu verstärken. [Barnes et al, 2003]

Die Pathogenese der COPD ist multifaktoriell. Die wichtigsten Faktoren, die zur Entstehung der Krankheit führen, sind sowohl exo- als auch endogen. Zu den exogenen Faktoren zählen neben dem Tabakrauchen als wichtigster Faktor auch die Luftverschmutzung, berufliche Belastung durch organische und anorganische Stäube sowie rezidivierende bronchopulmonale Infekte. Endogene Faktoren können Antikörpermangelsyndrome wie z.B. IGA-Mangel oder genetische Ursachen wie z.B. Alpha-1-Antitrypsinmangel sein.

1.1.6 Periphere Veränderungen im Rahmen der COPD

Obwohl die COPD eine Erkrankung ist, die in erster Linie das respiratorische System betrifft, treten in letzter Zeit immer mehr die systemischen Veränderungen, die diese Erkrankung mit sich bringt, in den Fokus der Wissenschaft. Wie bei einer großen Zahl von chronischen Erkrankungen ist auch die COPD mit einer Vielzahl systemischer Veränderungen assoziiert, die Einfluss auf die Mortalität und die Morbidität der Erkrankung haben können. Systemische Veränderung beschreiben

in diesem Zusammenhang extrapulmonale Folgeerscheinungen der COPD, die in kausalem Zusammenhang mit der Grunderkrankung stehen.

Die wichtigste systemische Veränderung stellt neben Verlust und Dysfunktion der Skelettmuskulatur, Osteoporose, Diabetes, Anämie und gesteigertem kardiovaskulären Risiko der Gewichtsverlust dar, da dieser mit einer Verschlechterung der Prognose bei Patienten mit COPD einhergeht. [Albert et al, 2008]

Der Gewichtsverlust, den circa 25% aller an COPD erkrankten Patienten erleiden, ist durch den Verlust an Muskelmasse sowie den Verlust an muskelfreier Masse bedingt. Der Pathomechanismus dieser im Krankheitsverlauf erworbenen Kachexie ist multifaktoriell. Energiebilanzabweichungen, Muskelatrophie, Gewebhypoxie durch arterielle Hypoxämie, systemische Entzündungsreaktionen und hormonelle anabole Insuffizienz stellen die entscheidenden Mechanismen bei der Entstehung der Kachexie dar. [Wagner, 2008]

Es wird davon ausgegangen, dass der Übertritt bestimmter Entzündungsmediatoren wie $\text{TNF}\alpha$, IL-6 und freier Sauerstoffradikale aus dem Lungenkreislauf in den systemischen Kreislauf für die systemische Manifestation der Erkrankung verantwortlich ist. Die systemische Entzündungsreaktion scheint ebenfalls für die Initiierung oder Verschlechterung bereits bestehender Komorbiditäten wie KHK, Depressionen, Lungenkrebs oder Diabetes verantwortlich zu sein. [Barnes et al, 2009] [Albert et al, 2008]

Anhand der aktuellen Forschungslage wird deutlich, dass die COPD eine Erkrankung ist, deren Ursprung und Hauptmanifestationsort zwar die Lungen sind, die aber auch alle anderen Organsysteme betreffen kann.

In Studien konnte gezeigt werden, dass 35-72% aller an COPD erkrankten Patienten eine Osteopenie aufweisen und 36-60% an einer Osteoporose leiden. Ursachen dieser Knochenmineralisationsstörungen sind bei den Patienten Rauchen, Vitamin-D Mangel, niedriger Body-Mass-Index (BMI), Hypogonadismus und insbesondere der Gebrauch von Glukokortikoiden. [Biskobing, 2002]

Eine weitere Tatsache, die die Systemrelevanz der COPD widerspiegelt, ist die Beteiligung des blutbildenden Systems. So konnte bei Patienten mit schwerer

chronisch-respiratorischer Erkrankung eine signifikante Erhöhung der Häufigkeit einer Anämie gegenüber einem Vergleichskollektiv nachgewiesen werden. [Hörnig et al, 2005] Dabei ist die Ursache dieses Hämoglobinmangels nicht abschließend geklärt. Ein vergleichsweise hohes Level an Erythropoetin im Blut der betroffenen Patienten stützt die Vermutung einer Erythropoetinresistenz als Ursache dieser Anämie. [John et al, 2005]

Laut aktuellem Forschungsstand wird in erster Linie die systemische und pulmonale Inflammation für die Vielzahl an Komorbiditäten verantwortlich gemacht. Es bleibt jedoch Aufgabe zukünftiger Forschung und Studien, diesen Zusammenhang darzulegen und die Beeinflussbarkeit der Komorbiditäten zu beweisen. [Sin et al, 2006]

1.1.7 Parameter der Leistungsfähigkeit

Leistungsfähigkeit bezeichnet das Vorhandensein gewisser Voraussetzungen und Fähigkeiten, um eine Leistung über einen längeren Zeitraum stabil zu erbringen. Unter dieser Definition subsumieren sich die körperliche Leistungsfähigkeit im Sinne der Konstitution, die psychische Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit und ganz allgemein Ausdauer und Motivation.

Die Leistungsfähigkeit eines Menschen ist nahezu immer psychophysisch angelegt, wobei in der konkreten Situation eine der beiden Komponenten im Vordergrund steht, z.B. entweder Rechenaufgabe oder Dauerlauf. [de Marées, 2002]

Die körperliche Leistungsfähigkeit, die in diesem Abschnitt näher betrachtet werden soll, bezeichnet die Fähigkeit eines Menschen, eine definierte Aufgabe in der höchsten erreichbaren Belastungsstufe zu erfüllen. Sie ist von der Leistungsbereitschaft und dem Leistungsvermögen eines Individuums abhängig und kann durch Lernprozesse und Training optimiert werden. [Holland et al, 2000]

Die körperliche Leistungsfähigkeit lässt sich sowohl qualitativ als auch quantitativ kategorisieren. Qualitativ erfolgt die Einteilung nach den motorischen Hauptbeanspruchungsformen Koordination, Flexibilität, Kraft, Schnelligkeit und

Ausdauer, quantitativ nach den Belastungsnormativen Intensität, Dauer und Häufigkeit. Je nach Art der Beanspruchung werden die Bewegungsformen einzeln oder in Kombination mit unterschiedlicher quantitativer Ausprägung zu leistungslimitierenden Größen. Daher sind eine Vielzahl unterschiedlicher körperlicher Leistungsfähigkeiten möglich. [de Marées, 2002]

Körperliche Leistungsfähigkeit schließt eine Einengung des Begriffes auf die physikalische Leistung als Arbeit pro Zeiteinheit aus. Dies wird zum einen durch die Tatsache verdeutlicht, dass die bereitgestellte Energiemenge bei gleicher physikalischer Leistung erhebliche Unterschiede aufweisen kann. Zum anderen wird die körperliche Leistung eines Sporttreibenden ganzheitlich und in einem bestimmten sozialen Umfeld erbracht. Somit wird die körperliche Leistungsfähigkeit neben physischen Komponenten auch von psychischen und sozialen Faktoren bestimmt. [de Marées, 2002]

Zur Messung der Leistungsfähigkeit bedarf es unterschiedlichster Messverfahren, da die Dimension der Leistungsfähigkeit die Messmethode und Messgröße bestimmt. Im Bezug auf die körperliche Leistungsfähigkeit lässt sich feststellen, dass kein Testverfahren existiert, das sie in ihrer Gesamtheit erfasst. Vielmehr dienen unterschiedliche Testverfahren der Untersuchung einzelner Ausprägungen der motorischen Hauptbeanspruchungsformen. Ein Testverfahren der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik zur Beurteilung der Ausdauer ist die Ergometrie. Sie dient der Vorgabe und exakten Dosierung physikalischer bzw. körperlicher Leistung, die reproduzierbar ist und deren Ergebnisse eine objektive Leistungsdiagnostik ermöglichen. Sie nimmt hinsichtlich der prognostischen Einschätzung sowie in der Funktionsbeurteilung bestimmter Erkrankungen einen hohen Stellenwert ein. Gleiches gilt für die Beurteilung des Verlaufs und die Bewertung der durchgeführten Therapie. [Westhoff et al, 2011]

Eine weitere Bestimmungsgröße menschlicher Leistung, die der Quantifizierung der Leistungsfähigkeit dient, ist der Leistungs-Puls-Index (LPI).

Er ist definiert als die durchschnittliche Zunahme der Herzschlagfrequenz bei einer kontinuierlichen Steigerung der Belastung um 9,81 (1 Meterkilopond \times s⁻¹) Watt pro

Minute. Dabei kann der LPI an einem Fahrradergometer ermittelt werden. [Luczak, 1995]

Die dargestellten Ausführungen bezüglich der Leistungsfähigkeit eines Menschen zeigen, dass Leistung ein definierter Begriff ist, der jedoch in den unterschiedlichen Dimensionen Anpassungen bedarf, um die Fähigkeiten eines Individuums darzustellen. In dieser Arbeit wird die Leistungsfähigkeit des zugrunde liegenden Patientenkollektivs mit Hilfe von klinischen Testparametern ermittelt, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

1.2 Das Vibrationstraining

1.2.1 Prinzip der vibratorischen Muskelstimulation

Das Vibrationstraining (Whole body vibration, WBV) stellt eine Trainingsform dar, bei der der Trainierende auf einer vibrierenden Plattform steht, die mit einer bestimmten Frequenz vibriert. Dabei werden von dem Trainierenden verschiedene Übungen auf der Platte durchgeführt und der Muskel dabei passiv zur Kontraktion angeregt. Je nach eingestellter Vibrationsfrequenz reicht das Spektrum dieses Trainings von Detonisierung und Entspannung der Muskulatur bis zu Muskelleistungssteigerung.

Das Vibrationstraining stellt kein einheitliches Trainingskonzept dar. Unterschiedliche Gerätehersteller verwenden uneinheitliche Gerätevarianten, deren größtes Unterscheidungsmerkmal die Art der Einleitung der Vibration in den Körper bzw. deren Applikationsform darstellt. Diese Gerätevarianten lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen einteilen. Den seitenalternierenden Systemen, deren Funktionsprinzip dem einer Wippe ähnelt, stehen die nicht-seitenalternierenden Systeme entgegen, bei denen die Vibration vertikal erfolgt und sich die gesamte Trittpläche auf und ab bewegt. [Abercromby et al, 2007]

Ein Vergleich der beiden Systeme zeigt, dass bei gleicher Amplitude des Trainingsgerätes und gleicher Körperhaltung der Trainingsperson die Beschleunigungen und Kräfte, die im Bereich der Wirbelsäule und des Kopfes

wirken, bei den seitenalternierenden Systemen deutlich geringer ausfallen. [Burkhardt, 2006]

Dies führt zu der Annahme, dass die seitenalternierenden Systeme ein geringeres Gesundheitsrisiko für Wirbelsäule und Kopf darstellen als die vertikal vibrierenden Systeme und dass eine wohl dosierte Anwendung des Vibrationstrainings zur Linderung chronischer Rückenschmerzen beitragen kann. [Abercromby et al, 2007] [Rittweger et al, 2002]

Das in dieser Arbeit verwandte Galileo Gesamtkörper-Vibrationstraining zählt zu den Systemen, die mittels seitenalternierender Bewegung rhythmische Muskelkontraktionen hervorrufen und damit eine potentielle Verbesserung der Kraft und Leistungsfähigkeit zur Folge haben können.

Bei dem Galileo Training steht der Trainierende auf einer Trainingsplattform, deren Vibrationsfrequenz individuell einstellbar ist. Je nach Trainingsziel kann der Anwender eine Vibrationsfrequenz zwischen 5 und 30 Hz auswählen.

Physiologische Grundlage der Muskelstimulation durch Vibrationen ist dabei die Auslösbarkeit von Reflexantworten. Dieses als Tonic-Vibration-Reflex (TVR) bekannte Phänomen konnte durch Matthews sowie Hagbarth und Eklund bereits 1966 dargestellt werden. Dabei verursacht die Übertragung von Vibrationen auf einen Muskel-Sehnen-Komplex eine rhythmische Reizung der Muskelspindel, die eine tonische Kontraktion auslöst, die den Muskeltonus und das Kraftpotential des Muskels erhöhen kann. [Hagbarth et al, 1966] [Matthews, 1966] [De Gail et al, 1966]

Hohe Trainingsfrequenzen dienen der Steigerung der Muskelleistung. Über eine Frequenz von ≥ 12 Hz hinaus können die bewussten Ausgleichsbewegungen auf cerebellärer und medullärer Ebene nicht mehr durchgeführt werden. Es werden zunehmend Muskeigenreflexe ausgelöst, wodurch es zu einer tonischen Kontraktion der Muskulatur kommt, die über eine verbesserte inter- und intramuskuläre Koordination eine Steigerung der Muskelleistung bewirkt. Die durchschnittliche Kontraktions- und Relaxationsphase von schnellen Typ-II Muskelfasern, die im Rahmen des Vibrationstrainings mehrheitlich aktiviert

werden, beträgt 20-65 Millisekunden. Somit kann die Muskulatur zwischen den Frequenzen 12 – 25 Hz vollständig kontrahieren und relaxieren. Damit bietet das Vibrationstraining im mittleren Frequenzbereich ein effektives Training für das Kontraktions- und Relaxationsvermögen des Muskels sowie für deren Koordination. Eine weitere Steigerung der Hz-Zahl führt durch eine Verkürzung der Relaxationsphase zu einem vollständigen Tetanus des Muskels und bedingt eine Steigerung der Muskelleistung. [Hüter-Becker et al, 2011] [Weineck, 2004] [Issurin et al, 1999]

Trainingsfrequenzen ≤ 12 Hz dienen insbesondere der Mobilisation und Detonisierung der Muskulatur. Initial wurde davon ausgegangen, dass bei einer Trainingsfrequenz ≤ 12 Hz die Bewegung der Galileo Trainingsplattform nicht schnell genug erfolgt, um Dehnreflexe auszulösen. In neueren Studien konnte jedoch dargelegt werden, dass ein Ganzkörpervibrationstraining, unabhängig von der gewählten Frequenz, eine frequenzabhängige Aneinanderreihung von Dehnreflexen erzeugt, die wiederum zu einem frequenzabhängigen Anstieg der EMG Aktivität führt. [Cochrane et al, 2009] [Ritzmann et al, 2010]

Das Galileo Vibrationstraining bietet ein physiologisches ganzheitliches Trainingskonzept, das die gesamte Muskelkette der Beine bis hinauf in den Rumpf trainiert, wobei die Intensität des Trainings durch Einstellung bestimmter Hz-Zahlen individuell regulierbar ist und Trainingsschwerpunkte auf einzelne Muskelgruppen allein durch Körperhaltung und Körpervorspannung variiert werden können.

Neben der Anwendung bei Sportlern als Trainingsergänzung und/oder Regenerationsförderung wird es bei der Behandlung verschiedener Krankheiten wie Morbus Parkinson, Multipler Sklerose und Urininkontinenz, aber auch zur Osteoporoseprophylaxe, Sturzprävention im Alter und im kosmetischen Bereich eingesetzt. [Egger et al, 2006]

1.2.2 Muskuläre Veränderungen im Rahmen eines Vibrationstrainings

Muskuläre Veränderungen, die im Rahmen einer vibratorischen Muskelstimulation auftreten, sind vielfältig, denn mechanische Vibrationen verursachen ab einem

bestimmten Frequenzbereich nicht-willentliche Muskelkontraktionen, die für die im Folgenden erläuterten Veränderungen verantwortlich sind.

In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass ein Vibrationstraining zu einer Steigerung der Maximalkraft führt. Hierfür werden neuronale Anpassungsvorgänge verantwortlich gemacht, die eine bessere Synchronisierung der Aktivierung der Muskulatur und eine gesteigerte Entladung von Ia Afferenzen beinhalten. [Jordan et al, 2005] [Kaeding, 2009]

So konnte im Jahr 2001 anhand einer randomisierten und kontrollierten Studie gezeigt werden, dass ein 4-monatiges Ganzkörpervibrationstraining zu einer Verbesserung der Sprunghöhe bei gesunden jungen Menschen führt. [Torvinen et al, 2001]

Eine weitere Studie kam zu einem ähnlichen Ergebnis. Hier wurde gezeigt, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei postmenopausalen Frauen sowohl zu einer signifikanten Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit der Knie-Extensoren als auch zu einer signifikanten Verbesserung der Höhe von Gegenbewegungssprüngen (Counter-movement jumps) führt. [Roelants et al, 2004]

Da die Sprunghöhe und die Höhe der Counter-movement jumps physiologische Parameter sind, die vor allem durch die vertikale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes zum Zeitpunkt des Absprunghes bestimmt werden, legt dies die Vermutung nahe, dass ein Ganzkörpervibrationstraining zu einer Verbesserung der körperlichen Schnellkraft führt.

Delecluse et al. fanden heraus, dass ein Ganzkörpervibrationstraining und die folgende reflektorische Muskelkontraktion das Potential besitzt, dieselbe Kraftsteigerung in der Muskulatur zu erzeugen, wie sie durch moderates Krafttraining zu verzeichnen ist. [Delecluse et al, 2003]

Im Jahr 2004 konnte mithilfe der Berliner Bed-Rest-Studie gezeigt werden, dass bei Patienten, die über einen Zeitraum von 8 Wochen einer völligen Immobilität ausgesetzt waren, ein tägliches Vibrationstraining den Verlust an Muskel- und Knochenmasse reduzieren konnte und damit der immobilitätsbedingten

Dekonditionierung von Struktur und Funktion der unteren Extremitätenmuskulatur entgegengewirkt werden kann. [Felsenberg, 2004] [Blottner et al, 2006]

Eine Studie an 30 Sportstudenten konnte nachweisen, dass ein Training auf Vibrationsplattformen eine Koaktivierung von Beuge- und Streckmuskulatur der unteren Extremitäten zur Folge hat und somit über eine aktive Gliedmaßenstabilisierung zur Prävention von Gelenkverletzungen beiträgt. [Berschin et al, 2004]

Betrachtet man den Forschungszeitraum der vergangenen 20 Jahre und setzt den Schwerpunkt der Betrachtung auf ein Vibrationstraining, bei dem vornehmlich Arm- und Beinmuskulatur der Probanden trainiert wurde, so fällt auf, dass die einzelnen Studien in ihrem Design bzgl. Vibrationsform, Größe der Amplitude und Frequenz Inhomogenität aufweisen, was dem Einsatz unterschiedlicher Trainingsprotokolle geschuldet ist.

Eine Metaanalyse aus dem Jahre 2010, die die Ergebnisse von 30 Studien zum Vibrationstraining berücksichtigte, zeigte, dass ein Training auf Vibrationsplattformen zu einer signifikanten Verbesserung der Muskelkraft führt. Dieser Trainingseffekt unterliegt je nach Funktionsprinzip der Trainingsplattform starken Schwankungen und hängt ebenfalls vom Alter der Trainierenden ab. So stellten sich diejenigen Vibrationsplattformen, deren Schwingung in vertikaler Richtung erfolgt, als weit effektiver heraus als Plattformen, die eine oszillierende bzw. seitenalternierende Vibrationsmethode verwenden. Weitere wichtige Einflussfaktoren stellen nach beschriebener Metaanalyse die Vibrationsfrequenz, das Alter der Probanden, die durchgeführten Übungen sowie die Trainingsdauer dar. So stellte sich die Trainingsfrequenz für die vertikal schwingenden Geräte zwischen 35 und 40 Hz als optimal heraus. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass ein regelmäßiger Wechsel der durchgeführten Übungen das Training um ein Vielfaches wirkungsvoller erscheinen lässt und dass ältere Menschen (>50 Jahre) stärker von einem Vibrationstraining profitieren als junge Menschen (<25 Jahre). Die optimale Trainingsdauer dürfte zwischen 6 und 12 Minuten liegen, da sowohl längere als auch kürzere Trainingseinheiten zu keinem besseren Ergebnis führten. Die optimale Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche wurde nicht explizit

untersucht. Sie lag aber in allen analysierten Studien zwischen 3-5 Trainingseinheiten pro Woche. Dabei lag die Trainingsdauer zwischen zwei und 48 Wochen bei einem Durchschnitt von 10 Wochen. [Marin et al, 2010]

1.2.3 Klinischer Einsatz

Die Einsatzgebiete des Vibrationstrainings sind vielfältig und erstrecken sich nicht ausschließlich auf die Stimulation von Muskeln und die Verbesserung ihrer Maximalkraft.

Eine Analyse verglich die physiologischen Effekte eines Ganzkörpervibrationstrainings mit einem herkömmlich durchgeführten Training auf einem Fahrradergometer. Beide Trainingsmethoden wurden bis zur Erschöpfung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten einen geringeren Blutdruck- und Laktatanstieg sowie eine Erhöhung der Blutflussgeschwindigkeit bei Vibrationstraining. [Rittweger et al, 2000] Ein anderes Forschungsvorhaben, durchgeführt an herztransplantierten Patienten, zeigte, dass die Veränderungen von Blutdruck, Herzfrequenz und Laktat, die im Rahmen eines Vibrationstrainings auftreten, denen eines üblichen aeroben Trainings entsprechen. [Crevenna et al, 2003] Im Rahmen dieser Studien konnte gezeigt werden, dass ein Vibrationstraining unter maximaler Belastung zu einer milden Herzkreislaufreaktion führt und sich somit zur Anwendung bei älteren und Kreislauf-kompromittierten Menschen eignet.

Ein weiteres Einsatzgebiet des Vibrationstrainings ist die Behandlung und Linderung von Rückenschmerzen sowie die Lockerung von Verspannungen. Der Erfolg der Behandlungsmethode in diesem Einsatzgebiet konnte in verschiedenen Untersuchungen gezeigt werden. Eine randomisierte, kontrollierte Studie zeigte, dass eine seitenalternierende Ganzkörpervibration nicht der Grund für chronischen Rückenschmerz ist, sondern zu einer Verbesserung der Schmerzsymptomatik beitragen kann. [Rittweger et al, 2002] Ein weiterer Beitrag untersuchte anhand einer Studienpopulation von 50 postmenopausalen Frauen, die unter Osteoporose litten, die Wirkung eines Ganzkörpervibrationstrainings in Kombination mit einer

Alendronatmedikation auf Knochendichte und chronischen Rückenschmerz. Es zeigte sich, dass die Studienpopulation, die mit einer Kombination aus Vibrationstraining und Alendronat behandelt wurde, gegenüber der nur mit Alendronat behandelten Population eine deutliche Reduktion der Rückenschmerzen aufwies. [Iwamoto et al, 2005]

Ebenfalls von Interesse ist das Vibrationstraining als Bestandteil eines Beckenbodentrainings bei Patienten mit Belastungsinkontinenz oder Beckenbodenschwäche. Das Vibrationstraining stärkt dabei die Beckenbodenmuskulatur und verbessert nachweislich die Symptome einer Inkontinenz. Dies konnte anhand einer Publikation belegt werden, die den Einfluss mechanischer Schwingungen auf die Beckenbodenmuskulatur bei Frauen mit Stressinkontinenz untersuchte. Nach 24 Wochen betrug die objektive Heilungsrate im klinischen Hustentest bis zu 80% und die Verminderung des Urinverlustes bis zu 78%, wobei die Kombination aus Ganzkörpervibration und Physiotherapie die besten Ergebnisse aufwies. [Von der Heide et al, 2003]

Ein weiteres wichtiges Qualitätsmerkmal des Vibrationstrainings ist seine durchblutungsfördernde Wirkung. So konnte an 20 gesunden Probanden nachgewiesen werden, dass ein 9-minütiges Vibrationstraining bei einer Frequenz von 26 Hz zu einer Verstärkung der peripheren Durchblutung führt. [Kerschanschindl et al, 2001] Die Durchblutungssteigerung ging dabei ohne nennenswerte Kreislaufbelastungen einher. Vibrationstraining führt zu einer besseren Blutversorgung der peripheren Muskulatur und erleichtert somit deren Regeneration.

Des Weiteren stellt die Geriatrie ein großes Einsatzgebiet der Ganzkörpervibration dar und ist somit Gegenstand aktueller Forschung. In diesem Zusammenhang konnte anhand eines Patientenkollektivs mit einem Durchschnittsalter von 72 Jahren eine signifikante Verbesserung der Gehgeschwindigkeit, der Schrittlänge sowie der maximalen Standzeit im 1-Bein-Stand nach Durchführung eines Ganzkörpervibrationstrainings gezeigt werden. [Kawanabe et al, 2007] Ein anderer Beitrag zeigte, dass ein 12-monatiges Vibrationstraining bei älteren Menschen die Sturzhäufigkeit und somit das Frakturrisiko senken kann. [Boegrats et al, 2007]

Diese Darlegungen implizieren, dass Vibrationstraining im fortgeschrittenen Alter durch Training der Balance und Koordination zur Prophylaxe von Stürzen beiträgt und so die Lebensqualität erhöhen und die Wahrscheinlichkeit eines Krankenhausaufenthaltes reduzieren kann.

Die Frequenzbereiche, die in den unterschiedlichen Studien über die Wirksamkeit eines Vibrationstrainings zum Einsatz kamen, variieren sehr stark. Es scheint keinen Konsens über die optimale Trainingsfrequenz zu geben. Cardinale et al. verglichen in ihrer Studie die Auswirkung drei verschiedener Frequenzbereiche auf die elektromyographische Aktivität des Musculus vastus lateralis. Laut ihrer Ausführungen zeigte sich die höchste Muskelaktivität bei einer Frequenz von 30 Hz. Dies lässt die Vermutung zu, dass die optimale Trainingsfrequenz im Bereich von 30 Hz liegt, jedoch individuellen Schwankungen unterliegt. [Cardinale et al, 2003]

Auch wenn Ergebnisse von Studien mit großer Teilnehmerzahl weiterhin ausstehen, wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen kleinerer Pilotstudien viele positive Erfahrungsberichte veröffentlicht, die zur Prävention und Linderung verschiedenster Krankheitsbilder beitragen können. Die bisher durchgeführten Untersuchungen das Ganzkörpervibrationstraining betreffend orientieren sich jedoch an kleinen Probandenzahlen und erfüllen daher nicht die Kriterien der Evidenz-basierten Medizin. Es bleibt somit Aufgabe zukünftiger Untersuchungen und Forschung, den Wirksamkeitsnachweis dieser speziellen Trainingsform zu erbringen und anhand prospektiver, kontrollierter sowie randomisierter Studien den Zugang dieses Trainings- bzw. Therapiekonzepts zur Evidenz-basierten Medizin zu ermöglichen.

1.2.4 Vorteil eines Vibrationstrainings bei obstruktiver Atemwegserkrankung

Die obstruktive Atemwegserkrankung als chronische Lungenkrankheit mit progredienter Atemwegsobstruktion zeichnet sich durch Belastungsdyspnoe und Leistungsabfall verbunden mit Muskelschwäche und Gewichtsabnahme aus. Patienten im fortgeschrittenen Stadium dieser Erkrankung sind aufgrund ihrer

Atemnot im Bereich sportlicher Aktivitäten limitiert, was dazu führt, dass sie ihr Bewegungsausmaß drastisch reduzieren. In der Folge wird Muskulatur abgebaut und die Symptome der Atemnot können sich weiter verstärken. Dies führt zu einer weiteren Limitation der Belastbarkeit. Abbildung 3 zeigt den Teufelskreis, in dem sich ein an COPD erkrankter Patient befindet.

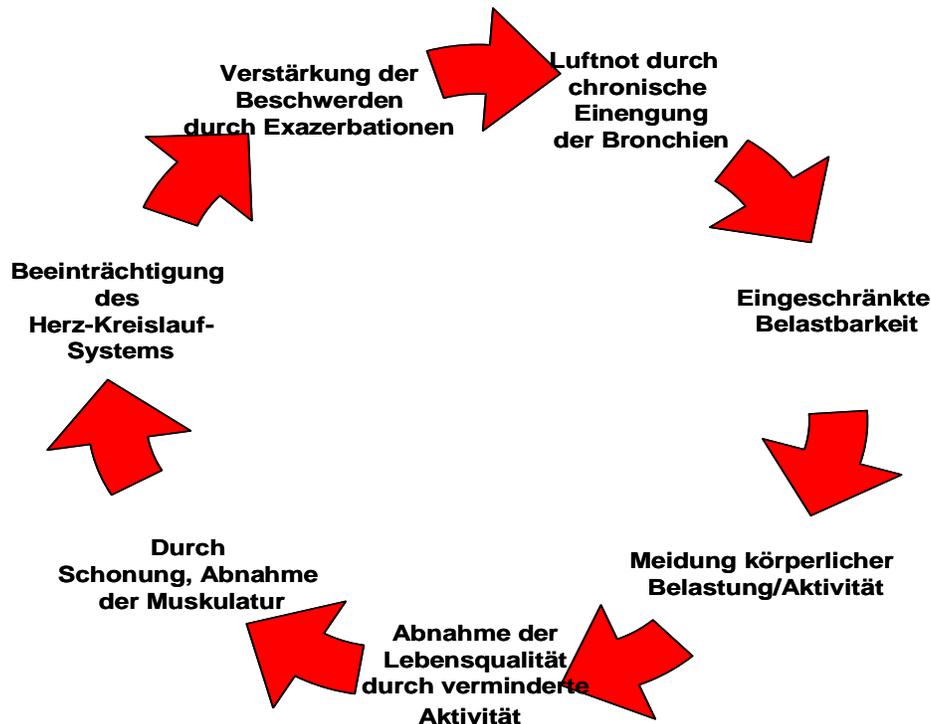


Abbildung 3: Teufelskreis der COPD, modifiziert nach ZuWallack, 2007

Zur Durchbrechung dieses Teufelskreises erscheint das Training auf dem Galileo-Vibrationstrainer als besonders sinnvoll, denn dieses Training erfordert ein relativ geringes Ausmaß an aktiver Mitarbeit. Es erfolgt ein passives Training ohne große eigene Willensanstrengung, das somit auch für Patienten geeignet ist, die durch Symptome wie Luftnot ein Training vermeiden.

Dieses Training bewirkt neben einer Stärkung der Muskulatur auch eine Verbesserung des Zusammenspiels bzw. der Koordination bestimmter

Muskelgruppen und erscheint aufgrund seiner geringen Belastung für das Herz-Kreislaufsystem für ein Training bei bestehender respiratorischer Limitation besonders geeignet.

Zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Studie gab es noch keine Studie zum Vibrationstraining bei COPD, auf später veröffentlichte Daten wird in der Diskussion eingegangen.

1.3 Fragestellung der vorliegenden Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob ein Ganzkörpervibrationstraining auf einer seitenalternierenden Galileo-Trainingsplattform krankheitsspezifische Parameter von an COPD erkrankten Patienten im fortgeschrittenen Krankheitsstadium (GOLD III-IV) beeinflussen kann. Weiterhin erfolgte die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der krankheitsspezifischen Parameter.

Folgende Fragen wurden im Einzelnen bearbeitet:

- Ist ein Ganzkörpervibrationstraining bei Patienten mit fortgeschrittener COPD durchführbar?
- Welche Nebenwirkungen eines Ganzkörpervibrationstrainings treten bei COPD-Patienten auf?
- Welchen Einfluss hat das Training auf die Leistungsfähigkeit, gemessen anhand der 6-Minuten-Gehstrecke?
- Ergeben sich durch das Training Änderungen in der Bewegungsanalyse anhand der Leonardo-Mechanographie?
- Welchen Einfluss hat das Training auf Parameter der Lungenfunktionsdiagnostik?
- Ändern sich Parameter der Blutgasanalyse durch das Training?
- Wirkt sich das Training auf die Schweregradeinteilung der COPD mittels Bode-Index und MMRC aus?
- Wird die anhand eines Selbsteinschätzungsinventars ermittelte gesundheitsbezogene Lebensqualität durch das Training beeinflusst?

2 Material und Methodik

2.1 Probanden

2.1.1 Einschlusskriterien

Die Einschlusskriterien, die Probanden zur Teilnahme an der vorliegenden Studie berechtigten, waren im Folgenden:

- Patienten mit einer COPD Stadium III – IV nach GOLD
- Alter ≥ 37 Jahre
- Schriftliche Zustimmung nach persönlicher Aufklärung

2.1.2 Ausschlusskriterien / Kontraindikationen

Ausschlusskriterien und Kontraindikationen, die Probanden nicht zur Teilnahme an der vorliegenden Studie berechtigten, waren alle Erkrankungen, bei denen gesundheitliche Risiken durch das Training zu erwarten waren. Im Einzelnen wurden folgende Befunde gezielt anamnestisch ausgeschlossen:

- Akute arterielle und venöse Thrombose
- Implantate in zu trainierenden Körperregionen mit einem Alter unter 3 Monaten
- Akute Entzündungen des Bewegungsapparates
- Aktivierte Arthrose oder Arthropathie
- Akute Tendinopathien in trainierten Körperregionen
- Akute Hernien
- Akute Diskopathie
- Frische Frakturen in trainierten Körperregionen
- Frische postoperative Wunden und Narben in zu trainierenden Körperregionen
- Infektionen der Atemwege < 1 Monate
- Frischer Myokardinfarkt (< 3 Monate)
- Steinleiden von Gallenwegen und ableitenden Harnwegen

- Blutungsneigung
- Schwindel / Fallneigung / Synkopen in der Vorgeschichte
- Erhebliche periphere Neuropathie mit Störung der Ausgleichsreflexe
- Schwangerschaft
- Herzschrittmacher / Automatischer implantierbarer Kardio-Defibrillator (AICD)

2.1.3 Patienten

Die Patienten der vorliegenden Arbeit waren 24 an COPD erkrankte Personen im GOLD Stadium 3-4 (13m, 10w, Alter 59 ± 7), die in der pneumologischen Ambulanz des Universitätsklinikums des Saarlandes rekrutiert wurden. Die Forschungsarbeit wurde durch die Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes genehmigt (Ziffer 196/09 vom 03.12.2009). Zur Selektion der Probanden fand nach der Kontaktaufnahme ein erstes Informations- bzw. Anamnesegespräch statt. Nach Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden die Probanden über Fragestellung, Inhalt, Ablauf, Risiken und Zielsetzung der Studie aufgeklärt. Es folgte eine schriftliche Einverständniserklärung der Probanden zur Teilnahme an dem beschriebenen Forschungsvorhaben, die im Verlauf von keinem der Studienteilnehmer zurückgezogen wurde.

Initial wurden 42 Personen in der Ambulanz kontaktiert. Bei 5 dieser Patienten waren die Ein- und Ausschlusskriterien nicht erfüllt, 13 der befragten Patienten sahen nicht die Möglichkeit, dreimal pro Woche zum Training zu kommen, weil sie entweder einen zu langen Anfahrtsweg hatten ($n=6$) oder auf eine Begleitperson angewiesen waren ($n=7$).

Die Probanden wurden in eine von zwei Trainingsgruppen randomisiert (siehe 2.2.2).

Die anthropometrischen Daten der jeweiligen Probandengruppen sind in Abbildung 4 und 5 dargestellt. Die Kontrollgruppe bestand aus 9 Probanden, die Trainingsgruppe aus 14 Probanden.

Nr.	Alter zum Einschlusszeitpunkt	Geschlecht	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²	GOLD- Stadium
1	58	w	157	69	28	4
2	61	w	160	51	19,9	4
3	69	w	170	53	18,3	3
4	49	w	155	49	20,4	4
5	63	m	173	49	16,4	4
6	54	m	173	71,5	23,9	4
7	53	w	160	59,5	23,2	4
8	67	w	165	79	29	4
9	57	w	157	44,7	18,1	4

Abbildung 4: Anthropometrische Daten der Kontrollgruppe

Nr.	Alter zum Einschlusszeitpunkt	Geschlecht	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²	GOLD- Stadium
1	49	m	167	78	28	4
2	61	m	175	56,4	18,4	4
3	50	m	182	70	21,1	4
4	53	m	170	75,8	26,2	4
5	62	m	167	77,5	27,8	4
6	48	m	190	126	34,9	4
7	58	m	163	51,5	19,4	3
8	65	w	164	75	28	4
9	70	m	176	96	31,1	3
10	60	w	154	69	29,1	3
11	62	w	170	70	24,2	3
12	71	m	172	86,4	29,2	4
13	57	m	172,5	74,8	25,1	4
14	68	m	189	79,2	22,2	4

Abbildung 5: Anthropometrische Daten der Trainingsgruppe

2.1.4 GOLD-Klassifikation

Die Einteilung der Probanden erfolgte in der vorliegenden Arbeit nach der GOLD-Klassifikation von 2010. Alle Probanden waren im GOLD-Stadium 3 (n=5) und 4 (n=18).

2.2 VibeX

2.2.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine randomisierte, kontrollierte, doppelblinde, prospektive, klinisch-experimentelle Studie. Die Probanden durchliefen vor Aufnahme des Trainings ein initiales Screening (Baseline/BL). Dieses Screening diente der Erfassung aktueller Ausgangswerte und beinhaltete die in Abbildung 7 dargestellten Untersuchungen.

Es wurden in einem Zeitraum von 1 ½ Jahren (Februar 2010 – August 2011) 24 Probanden zur Teilnahme an diesem Forschungsvorhaben zur Erhebung von Primärdaten rekrutiert. Abbildung 6 zeigt in einem Flussdiagramm das Studiendesign und den zeitlichen Ablauf der einzelnen Programmpunkte.

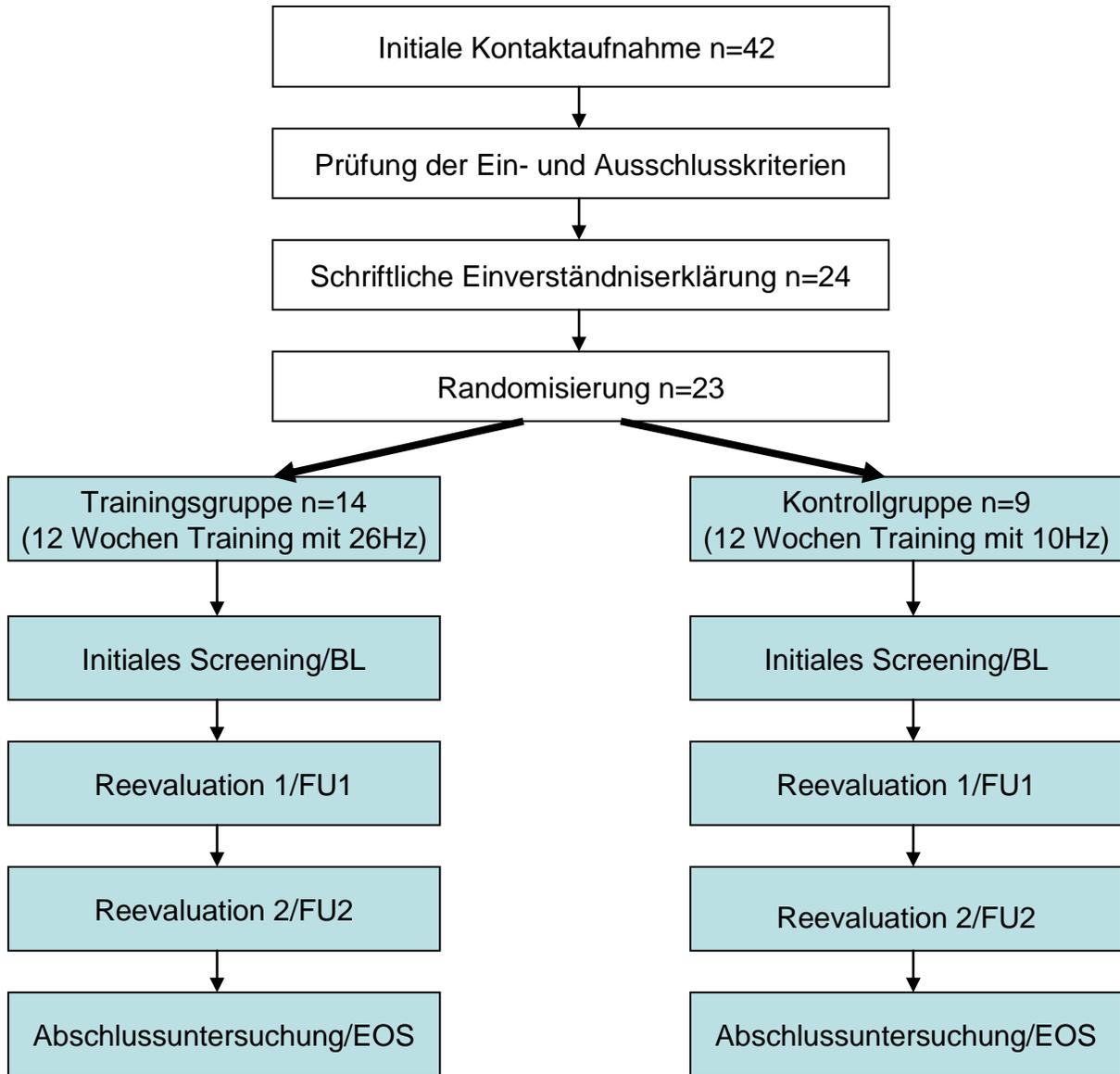


Abbildung 6: Studiendesign

Das Training belief sich auf insgesamt 36 Trainingseinheiten mit drei Trainingseinheiten pro Woche.

Nach 12 bzw. 24 Trainingseinheiten fanden jeweils Reevaluationen statt (Follow up 1+2/FU 1+2). Diese Reevaluationen fungierten als Verlaufsbeurteilung gesundheitsspezifischer Parameter und umfassten die in Abbildung 7 aufgelisteten Untersuchungen.

Ein Teil der erhobenen Daten wurde in der vorliegenden Dissertation ausgewertet.

Nach 36 Trainingseinheiten endete das Training mit den Abschlussuntersuchungen (End Of Study/EOS). Sie beinhalteten außer Randomisierung und Trainingstestlauf die gleichen Untersuchungen wie das initiale Screening und dienten der Ermittlung von Endwerten, die einen Vorher-Nachher-Vergleich der gesundheitspezifischen Parameter ermöglichte.

Initiales Screening/ BL	Reevaluation 1/FU1 (nach 12 Trainingseinheiten)	Reevaluation 2/FU2 (nach 24 Trainingseinheiten)	Trainingsende/EOS
<ul style="list-style-type: none"> <i>-Randomisierung</i> <i>-Trainingstestlauf</i> <i>-Lungenfunktions- diagnostik</i> <i>-6 Minuten- Gehstrecke</i> <i>-Blutgasanalyse</i> <i>-Leonardo</i> <i>Sprungplatten- analyse</i> <i>-Fragebögen / Lebensqualität</i> <i>-Bode-Index</i> -Muskelbiopsie -Blutentnahme -Spiroergometrie -OEP -Elektrokardiogramm 	<ul style="list-style-type: none"> <i>-Lungenfunktions- diagnostik</i> <i>-6 Minuten- Gehstrecke</i> <i>-Blutgasanalyse</i> <i>-Leonardo</i> <i>Sprungplatten- analyse</i> <i>-Fragebögen / Lebensqualität</i> -Elektrokardiogramm 	<ul style="list-style-type: none"> <i>-Lungenfunktions- Diagnostik</i> <i>-6 Minuten- Gehstrecke</i> <i>-Blutgasanalyse</i> <i>-Leonardo</i> <i>Sprungplatten- analyse</i> <i>-Fragebögen / Lebensqualität</i> <i>-Elektrokardiogramm</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>-Lungenfunktions- diagnostik</i> <i>-6 Minuten-Gehstrecke</i> <i>-Blutgasanalyse</i> <i>-Leonardo</i> <i>Sprungplatten-analyse</i> <i>-Fragebögen / Lebensqualität</i> <i>-Bode-Index</i> -Muskelbiopsie -Blutentnahme -Spiroergometrie -OEP -Elektrokardiogramm

Abbildung 7: Untersuchungen zu den einzelnen Evaluationszeitpunkten (Daten mit Relevanz für die vorliegende Dissertation *kursiv* geschrieben)

2.2.2 Randomisierung / RITA

Zum Ausschluss von untersucherbedingten Verzerrungen bei der Einteilung der Studienteilnehmer in die einzelnen Trainingsgruppen erfolgte eine Randomisierung.

Sie ist die einzige Methode, um bestimmte personengebundene Störgrößen gleichmäßig auf Experimental- und Kontrollgruppe zu verteilen, und verringert gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wirksamkeitsnachweis einer systematischen Verzerrung bzw. Bias unterliegt.

In der vorliegenden Studie, die nach kontrolliertem, randomisiertem und doppelblindem Design aufgebaut war, erfolgte die Randomisierung der Studienteilnehmer auf die jeweiligen Behandlungsgruppen unter Zuhilfenahme der Randomisierungssoftware Randomization In Treatment Arms (RITA). Die Randomisierung erfolgte als permutierte Blockrandomisierung, einem eingeschränkten Randomisierungsverfahren, bei dem die Studienteilnehmer auf Basis eines computerbasierten Zufallszahlengenerators und einem Zuteilungsverhältnis von 1:1 den jeweiligen Probandengruppen zugeordnet wurden. Eigenschaften der Probanden hatten keinen Einfluss auf den Randomisierungsprozess und damit auf die Zuteilung der Behandlungsgruppe.

Zur Vermeidung eines Bias erfolgte die Verblindung der Patienten. Ihnen wurde weder mitgeteilt, in welcher der beiden Gruppen sie trainierten, noch war es ihnen anhand der Geräteeinstellung ersichtlich, mit welcher Frequenz sie trainierten. Es wurden Trainingsgruppen gebildet, in denen ausschließlich Probanden derselben Gruppe trainierten, um eventuelle Unterschiede in der Trainingsfrequenz nicht erkenntlich zu machen.

Weiterhin erfolgte die Verblindung der Untersucher. Eine Person des Forschungsteams führte die Randomisierung durch. Dieser Person oblag im weiteren Verlauf, da sie von der Gruppenzuteilung der Probanden Kenntnis hatte, die Aufgabe der Supervision und Koordination der Untersuchungen. Den an der Datenerhebung beteiligten Personen wurde die Gruppenzuteilung der Probanden verschwiegen. Eine ausgebildete Physiotherapeutin, die für die Durchführung der

Trainingseinheiten zuständig war, jedoch nicht in die Datenerhebung eingebunden war, wurde ebenfalls über die Gruppenzuteilung der Probanden in Kenntnis gesetzt.

2.2.3 Ablauf der Übungen

Vor Aufnahme der ersten Übungseinheit bedurfte es neben dem Ausschluss von Gegenanzeigen wie Schwangerschaft, akute Thrombose, entzündliche Gelenkveränderungen, frische Frakturen/Diskopathien, Steinleiden und Epilepsie der Einweisung durch einen geschulten Übungsleiter.

Nach erfolgter Einführung nimmt der Trainierende auf der Galileo-Trainingsplattform eine bestimmte Haltung ein und führt geeignete Bewegungen durch. Durch Veränderung von Körperhaltung und Muskeltonus kann die Zielregion des Trainings moduliert werden. Schon minimale Veränderungen der Fußposition, Gelenkstellung, Gewichtsverlagerung oder Muskelspannung führen zu einer Änderung der trainierten Körperregion. Die Vibrationen verstärken die Selbstwahrnehmung der beanspruchten Körperabschnitte in hohem Maße und ermöglichen so dem Übenden, die Regelung des Trainingsreizes sehr schnell und intuitiv zu lernen. [Runge, 2004]

Variiert werden kann am Gerät:

- die Frequenz der Vibrationen

Am Übenden:

- Gelenkstellung bzw. Körperposition
- Lage des Körperschwerpunktes über der Unterstützungsfläche
- Körpergewicht durch zusätzliche Gewichte
- Abstand der Füße von der Mittellinie und die Richtung der Fußlängsachse

Im Trainingsprotokoll:

- Dauer der Belastungsphasen
- Anzahl der Belastungsphasen pro Trainingszyklus
- Dauer der Pausen zwischen den Belastungsphasen
- Anzahl der Zyklen pro Training
- Anzahl der Trainings pro Woche

Durch Variation des Abstands der Füße von der Drehachse des Trainingsgeräts kann die Höhe der Amplitude und damit die Stärke der Krafteinleitung stufenlos variiert werden. Des Weiteren variieren die Veränderungen von Körperhaltung, Gelenkstellung und Muskeltonus die Steifigkeit der verschiedenen Körperabschnitte und damit die Resonanzverhältnisse zwischen Galileo und den verschiedenen Körperregionen. [Runge, 2004]

2.2.4 Behandlungsziele

Die Behandlungsziele des Vibrationstrainings im Rahmen der durchgeführten Studie lauteten:

- Steigerung der Belastbarkeit von Patienten mit COPD im GOLD Stadium III-IV
- Steigerung ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit
- Verminderung der Häufigkeit von Exazerbationen

2.2.5 Trainingsprotokolle

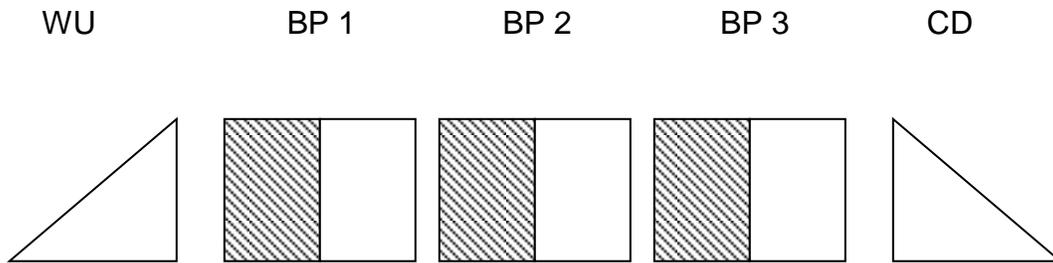
Die Durchführung der Übungen erfolgte auf einem Galileo Vibrationstrainer der Firma Novotec Medical GmbH Pforzheim/Germany.

Vor Aufnahme der Übungseinheiten erfolgte die unter 2.2.2 beschriebene Randomisierung der Probanden in eine Trainings- oder Kontrollgruppe. Beide Gruppen trainierten nach einem festgeschriebenen Protokoll über einen Zeitraum von 12 Wochen dreimal wöchentlich. Es ergaben sich somit insgesamt 36 Trainingseinheiten für jeden Studienteilnehmer. Ausfallzeiten wurden bis zu

einem Maximum von zwei Wochen toleriert, wobei die ausgefallenen Trainingseinheiten nachgeholt werden mussten.

Bei beiden Gruppen begannen die Trainingseinheiten mit einer 3-minütigen Aufwärmphase (Warm-up/WU) bei einer Frequenz von 10 Hz. Danach folgten drei Belastungsphasen (BP) von 2-minütiger Dauer mit gruppenvariabler Belastungsstufe sowie drei Ruhephasen von ebenfalls 2-minütiger Dauer zwischen den einzelnen Belastungsdurchgängen. Den Abschluss der Trainingseinheiten bildete eine 3-minütige Entspannungsphase (Cool-down/CD), die bei einer Frequenz von 10 Hz für beide Gruppen identisch war.

Der Unterschied zwischen Trainings- und Kontrollgruppe lag in den drei Belastungsphasen. Während die Kontrollgruppe analog zur Aufwärmphase auch die Belastungsphasen mit einer Frequenz von 10 Hz absolvierte, wurde bei der Trainingsgruppe die Frequenz während der Belastungsphasen auf 26 Hz gesteigert.



Protokoll Trainingsgruppe:

3 Min	2 +2 Min Pause	2+2 Min	2+2 Min	3 Min
10 Hz	26 Hz	26 Hz	26 Hz	10 Hz

Protokoll Kontrollgruppe:

3 Min	2 +2 Min Pause	2+2 Min	2+2 Min	3 Min
10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz

Abbildung 8: Trainingsprotokoll

Das Galileo Trainingsgerät bietet die Möglichkeit, zwischen 4 Standweiten stufenlos zu variieren. Es gilt der Grundsatz: je größer die Standweite, also der Abstand beider Füße zueinander, desto größer die Amplitude und damit die in den Körper eingeleiteten Kräfte.

Vor Aufnahme der Übungseinheiten erfolgte die Ermittlung der optimalen Anfangsstandweite auf dem Galileo-Trainingsgerät durch die Studienärzte unter Zuhilfenahme eines Ermüdungstestes. Die Probanden wurden zu deren Festlegung bei einer Frequenz von 26Hz auf allen 4 vorgegebenen Standweiten belastet. Es wurde die Zeit gemessen, die auf der jeweiligen Standweite bei 26 Hz toleriert wurde. Als ideal wurde nun die Standweite erachtet, deren Zeitwert am nächsten an der als zukünftige Belastungsphase festgelegten 2-Minuten-Grenze lag.

Nach Festlegung von Gruppenzugehörigkeit und idealer Anfangsstandweite sowie Abschluss der Eingangsuntersuchungen fand die Aufnahme des Vibrationstrainings durch die Studienteilnehmer statt. Einweisung, Durchführung und Überwachung der Trainingseinheiten erfolgte durch eine ausgebildete physiotherapeutische Fachkraft.

Oben genannter Fachkraft oblag ebenfalls die Anpassung der Trainingsintensität an die individuelle Leistungsfähigkeit während der einzelnen Trainingseinheiten. Dabei lag es in ihrem subjektiven Ermessen, die Belastung der Studienteilnehmer an eine im Rahmen des Trainings verbesserte oder verschlechterte Leistungsfähigkeit anzupassen. Variiert werden durfte neben der Standweite auch die Intervalllänge der Trainingseinheiten. Anzahl der Intervalle und die Trainingsfrequenz in Hz blieben hingegen bei jedem Trainingsdurchgang konstant. Bei der Trainingsposition, die die Studienteilnehmer während des Trainings einnahmen, wurde darauf geachtet, dass sich Knie- und Hüftgelenke der Trainierenden in einer leichten Flexionsstellung befanden, wohingegen die Wirbelsäule in einer möglichst aufrechten Position gehalten werden sollte.

2.2.6 Abbruchkriterien

Neben den Ausschlusskriterien wurden ebenfalls Abbruchkriterien definiert, die bei Eintreten zum Ausschluss des Probanden aus dem Studienkollektiv führten. Diese waren im Folgenden:

- Auftreten eines der unter 2.1.2 definierten Ausschlusskriterien
- Schwerwiegendes unerwünschtes Ereignis / Serious adverse Event (SAE)
- Aufhebung der Einverständniserklärung
- Fernbleiben vom Training > 2 Wochen
- Akute Erkrankung, welche ein Training verhindert oder Nicht-Einhaltung des Trainingsplans, wobei innerhalb der gesamten Trainingszeit ein Ausfall von maximal 6 Trainingseinheiten toleriert wurde.

2.3 Klinische Testparameter

2.3.1 6-Minuten-Gehstrecke

Die 6-Minuten-Gehstrecke (6-Minute-Walking-Distance/6MWD) ist ein diagnostisches Mittel, um die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit eines Patienten darzustellen und im Verlauf zu kontrollieren.

Es ist ein Ausdauerstest, bei dem der Patient gebeten wird, auf ebener Strecke soweit wie möglich innerhalb eines Zeitrahmens von 6 Minuten zu gehen. Das Gehtempo wird von dem Patienten selbst vorgegeben, wobei der Patient am Ende des Testes das Gefühl haben sollte sich angestrengt zu haben. Pausen und Tempowechsel sind dabei erlaubt. [Van Gestel et al, 2010]

Die Messung der Gehstrecke erfolgt in Metern (m), wobei unter Berücksichtigung individueller Unterschiede eine Strecke von ≥ 400 m als Normwert zu verstehen ist.

Die 6-Minuten-Gehstrecke eignet sich zur Interpretation einer Behandlung bzw. Intervention bei COPD Patienten. Es wird die Differenz der beiden Gehstrecken vor und nach der Intervention zur Beurteilung herangezogen. Als klinisch relevant gilt dabei eine Behandlung/Intervention, die zu einer Verlängerung der 6-Minuten-Gehstrecke von näherungsweise 35 Metern führt. [Puhan et al, 2008]

In der vorliegenden Studie erfolgte die Durchführung der 6-Minuten-Gehstrecke unter physiotherapeutischer Anleitung auf einer abgemessenen 50-Meter-Bahn in der Klinik für Innere Medizin V des Universitätsklinikums des Saarlandes.

Zur Erweiterung der Testparameter fand sowohl vor als auch nach Durchführung der 6-Minuten-Gehstrecke die Aufzeichnung bestimmter patientenspezifischer Parameter statt. Aufgezeichnet wurde dabei im Folgenden:

- Puls/Herzfrequenz
- Blutdruck
- Blutgasanalyse
- Borg-Skala nach Belastung
- Anzahl der Pausen

Die Borg-Skala, die nach Absolvierung der 6-Minuten-Gehstrecke durch die physiotherapeutische Fachkraft erhoben wurde, diente der Erfassung der Beanspruchungsintensität der Probanden sowie der Klassifizierung von Schmerzen und Dyspnoe. Zur Anwendung kam die modifizierte Borg-Skala (Category-Ratio-Scale / CR-10-Skala), die elf Unterscheidungen von 0=“überhaupt nichts“ bis 10=“sehr, sehr stark“ aufwies.

Einigen Patienten war es aufgrund ihrer körperlichen Verfassung und respiratorischen Limitation lediglich möglich, die 6-Minuten-Gehstrecke unter Zuhilfenahme eines Gehwagens bei jeder Gehstrecke durchzuführen. Bei den Verlaufsuntersuchungen wurden jeweils identische Bedingungen für die Durchführung der Tests geschaffen.

2.3.2 Sprungplattenanalyse

Die Sprungplattenanalyse wurde im Rahmen der vorliegenden Studie mit Hilfe eines Leonardo Mechanographen sowie der Analysesoftware Leonardo Mechanography RES der Firma Novotec Medical GmbH Pforzheim/Germany durchgeführt.

Bei dem Leonardo Mechanographen handelt es sich um eine Kraftmessplatte, die als diagnostisches Messverfahren anhand der Bodenreaktionskräfte bei alltäglichen Bewegungen körperschwerpunktbezogene physikalische Parameter wie Geschwindigkeit, Leistung und relative Leistung ermitteln kann.

Die Sprungplattenanalyse liefert eine Bewegungsanalyse, die eine Darstellung der individuellen Leistungsfähigkeit, der Spitzenkräfte und der Asymmetrien des Bewegungsapparates ermöglicht.

Die Probanden führten zur Erfassung ihres Leistungsstandes den „Single-2-Leg-Jump“, den „Chair-Rising-Test“ sowie den „Balance-Test“ durch.

Der Single-2-Leg-Jump (S2LJ) dient dabei als Test der allgemeinen Leistungsfähigkeit. Es wird ein Sprung aus aufrechter Position mit Ausholbewegung und dem Ziel maximaler Höhe durchgeführt. Aufgezeichnet werden die maximale Leistung P_{max} in Watt und die relative Leistung P_{max}/KG in Watt/KG. Die Wahl dieser Methode ergab sich nicht zuletzt aus ihrer guten Reproduzierbarkeit und Test-Retest-Reliabilität. [Rittweger et al, 2004]

Der Chair-Rising-Test (CRT) dient ebenfalls der Ermittlung der allgemeinen Leistungsfähigkeit und wird vor allem bei stark dekonditionierten Probanden eingesetzt. Nach Montage einer Sitzbank auf dem Leonardo Mechanographen steht der Proband aus sitzender Position 5-mal hintereinander schnellstmöglich auf, bis die Beine durchgestreckt sind, und setzt sich anschließend wieder hin. Dabei werden die maximale Leistung P_{max} in Watt und die Zeit pro Aufstehvorgang als „Time per Test“ in Sekunden registriert.

Der Balance-Test findet als Gleichgewichtstest Eingang in die Bewegungsanalyse. Der Proband versucht dabei, für einen definierten Zeitraum von 10 Sekunden so ruhig wie es ihm möglich erscheint auf der Plattform zu verweilen. Dieser Test wird in drei Durchgängen absolviert; im Zweibeinstand mit geöffneten Augen, im

Zweibeinstand mit geschlossenen Augen sowie im Einbeinstand mit geöffneten Augen, wobei das Standbein frei wählbar ist. Registriert wird die Fläche der 90% Standardellipse und somit Schwankungen des Kraft-Einleit-Punktes/Center of Pressure (CoP). Diese Daten erlauben eine Analyse der Variation des effektiven Kraft-Einleit-Punktes und gelten daher als Maß für das Gleichgewicht und die Koordination der Probanden.

2.3.3 BODE-Index

Der BODE-Index ist eine multidimensionale Schweregradeinteilung der COPD, die zur Vorhersage der Überlebenswahrscheinlichkeit bei Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung dient. [Celli et al, 2004]

BODE dient dabei als Abkürzung und steht für Body-mass-index, Obstruktion (Obstruction), Luftnot (Dyspnoe) und Leistungsfähigkeit (Exercise capacity).

Berücksichtigt werden somit in diesem Index das Ausmaß der Obstruktion anhand der FEV₁, die Atemnot mittels des modifizierten Medical-Research-Council-Score (MMRC), die körperliche Belastbarkeit über die 6-Minuten-Gehstrecke und das Körpergewicht anhand des Body-mass-index. Mithilfe der Verschiedenheit dieser Parameter schafft es der Index, dem systemischen Aspekt der Erkrankung COPD gerecht zu werden.

Abbildung 9 gibt einen Überblick über die einzelnen Parameter des BODE-Index und den ihnen zugeteilten Punktwerten. Der MMRC wird in Kapitel 2.3.4 separat erörtert.

Punkte	0	1	2	3
BMI (kg/m ²)	> 21	< 21		
FEV1 in %	≥ 65	50 – 64	36 – 49	≤ 35
MMRC-Dyspnoe	0 – 1	2	3	4
6-Minuten-Gehstrecke (m)	≥ 350	250 - 349	150 - 249	≤ 149

Abbildung 9: Parameter und zugeteilte Punktwerte des BODE-Index

Die erreichbaren Punktwerte des BODE-Index liegen zwischen 0 und 10 Punkten und ergeben den BODE-Score, wobei ein Punktwert von 10 mit dem höchsten Sterberisiko einhergeht.

Celli et al., auf die das multidimensionale Gradingssystem zurückgeht, stellten im Jahr 2004 fest, dass die BODE-Scorebereiche bzw. Quartilen 0-2, 3-4, 5-6 und 7-10 in der von ihnen untersuchten Patientenpopulation sowohl mit der Gesamtmortalität als auch mit der COPD-bedingten Mortalität besser korrelierten als die FEV1. So entsprach ein Index von 7 – 10 einer Todesrate von 82% nach 52 Monaten. [Celli et al, 2004]

Eine Weiterentwicklung des BODE-Index erfolgte im Jahre 2009. Es zeigte sich bei einem stationären Patientenkollektiv mit schwerer COPD, dass der BODE-Index das Sterberisiko der Patienten unterschätzte, wohingegen er es bei einem ambulanten Kollektiv mit leichter COPD überschätzte. Als Reaktion auf diese Erkenntnis stuften Puhan und Kollegen die 6-Minuten-Gehstrecke mit einer höheren Punktzahl ein als bisher und setzten die Bewertung der FEV1 herab. Dies ergab ein modifiziertes Gradingssystem mit einer Maximalpunktzahl von 15 Punkten, das deutlich macht, dass der Mobilitätsgrad, in Form der 6-Minuten-Gehstrecke, der stärkste Einflussfaktor für den Schweregrad der Krankheit ist. [Puhan et al, 2009]

In der vorliegenden Studie wurde aufgrund der eindeutigeren Studienlage der BODE-Index nach Celli et al. mit einer Maximalpunktzahl von 10 Punkten verwandt. Der Index wurde an zwei Zeitpunkten erhoben. Vor Aufnahme des Vibrationstrainings erfolgte die Ermittlung des Ausgangswertes (BL) sowie nach Abschluss der 36 Trainingseinheiten die Ermittlung des Abschlusswertes (EOS).

2.3.4 Modifizierter Medical-Research-Council-Score (MMRC)

Der MMRC dient als einfaches Bewertungssystem zur Abschätzung der subjektiv empfundenen Luftnot eines Patienten und ist Bestandteil des multidimensionalen BODE-Index.

Dabei korreliert die klinische Bemessung der Luftnot signifikant mit physiologischen Parametern der Lungenfunktion. [Mahler et al, 1988]

Einen Überblick über den MMRC, die Beschreibung der Luftnot und die jeweils zugeteilte Punktzahl liefert Abbildung 10.

Grad	Beschreibung der Luftnot
0	Nie Atemnot, außer bei maximaler Belastung
1	Atemnot bei vermehrter Anstrengung in der Ebene oder bei leichter Steigung
2	Atemnot bei normalem Gehtempo (altersentsprechend) / häufige Atempausen
3	Atemnot bei geringer Belastung (100 Meter gehen / nach wenigen Minuten)
4	Atemnot in Ruhe, beim An- und Auskleiden / kann das Haus nicht verlassen

Abbildung 10: Modifizierter Medical-Research-Council-Score (MMRC)

2.3.5 Lungenfunktionsdiagnostik

In der vorliegenden Studie wurde zur Lungenfunktionsdiagnostik neben der Spirometrie die Bodyplethysmographie verwandt.

Die Spirometrie ist ein Verfahren zur Aufzeichnung und Messung des Atem- bzw. Lungenvolumens und der Atemstromstärke zur Beurteilung der Lungenfunktion.

Sie kann kontinuierlich zur Messung der Ventilation oder mittels willkürlicher Atemmanöver zur Messung bestimmter Lungenvolumina durchgeführt werden.

Der Proband atmet unter Anleitung und nach Verschluss der Nase durch eine Nasenklemme in das Mundstück eines Spirometers. Ausgehend von der Atemruhelage wird der Patient aufgefordert, bestimmte Atemmanöver durchzuführen, die von dem Spirometer aufgezeichnet werden. Die Spirometrie ermöglicht es, verschiedene Lungenvolumina und ihre dynamischen Veränderungen als Volumen-Zeit-Kurve und Fluss-Volumen-Kurve darzustellen und leistet so einen entscheidenden Beitrag bei der Diagnostik und Differenzierung obstruktiver und restriktiver Lungenerkrankungen.

Die Bodyplethysmographie (Synonym: Ganzkörperplethysmographie) stellt ebenfalls ein Verfahren zur Lungenfunktionsprüfung dar. Im Gegensatz zur Spirometrie befindet sich der Proband dabei in einer luftdichten Kammer, deren Volumen bekannt ist, und führt bei verschlossener Nase über einen Atemschlauch unterschiedliche Atemmanöver durch. Durch die Atembewegungen des Patienten und ventilationsbedingte Volumenänderungen kommt es zu Veränderungen des Kammerdruckes, der über Sensoren fortlaufend gemessen und als Druck-Volumen-Diagramm oder sogenannte Atemschleife zur Bestimmung des Atemwegswiderstandes dargestellt wird. Mit der Bodyplethysmographie lässt sich das intrathorakale Volumen messen. Aus diesem Volumen, das verlässlich bestimmt werden kann, lassen sich in Verbindung mit einer Spirometrie wichtige Volumina wie das Residualvolumen und die totale Lungenkapazität berechnen. [Crieé et al, 2009]

Das in der vorliegenden Studie verwandte Gerät ist der MasterScreen Ganzkörperplethysmograph der Viasys Healthcare GmbH aus Hoechberg/Germany.

Die in der vorliegenden Studie mithilfe der Lungenfunktionsdiagnostik erhobenen Parameter sind im Folgenden in der Abbildung 11 dargestellt.

Bodyplethysmographie	
FVC	Forcierte Vitalkapazität [l]
FEV1	Forcierte Einsekundenkapazität [l]
FEV1rel	Forcierte Einsekundenkapazität [% vom Soll]
FEV1%M (Tiffeneau)	Tiffeneau-Test [FEV 1 in Prozent von FVC]
PEF	Maximaler expiratorischer Fluss [l/s]
FEF25	Maximaler expiratorischer Fluss bei 25% der FVC [l/s]
FEF50	Maximaler expiratorischer Fluss bei 50% der FVC [l/s]
FEF75	Maximaler expiratorischer Fluss bei 75% der FVC [l/s]
FIV1	Inspiratorische Sekundenkapazität [l]
SRtot	Totaler Atemwegswiderstand [% vom Soll]
SReff	Spezifischer effektiver Atemwegswiderstand [% vom Soll]
Reff	Effektiver Atemwegswiderstand [% vom Soll]
ITGV	Intrathorakales Gasvolumen [l]
ERV	Expiratorisches Reservevolumen [l]
RV	Residualvolumen [l]
VC	Vitalkapazität [l]
TLC	Totale Lungenkapazität [l]
RV%TLC	Anteil des Residualvolumen an der totalen Lungenkapazität [%]
Diffusion	
TLCOc	Diffusionskapazität der Lunge [mmol/min/kPa]
TLCOc%	Diffusionskapazität der Lunge [% vom Soll]
KCO	CO-Transfer-Koeffizient [mmol/min/kPa/l]
KCO%	CO-Transfer-Koeffizient [% vom Soll]
Atemmuskelkraft	
PImax	Maximale Atemmuskelkraft [kPa]
PImax%	Maximale Atemmuskelkraft [% vom Soll]
P0.1max	Mundverschlussdruck bei maximaler Inspiration
P0.1max%	Mundverschlussdruck bei maximaler Inspiration [% vom Soll]
P0.1	Mundverschlussdruck bei Ruheatmung
P0.1%	Mundverschlussdruck bei Ruheatmung [% vom Soll]
P0.1/Pimax	Respiratorische Kapazität [%]
P0.1/P0.1max	Verhältnis Last der Atempumpe zur Kapazität der Atempumpe [%]

Abbildung 11: Parameter der Lungenfunktionsdiagnostik

2.3.6 Lebensqualität

Die Weltgesundheitsorganisation definiert die Lebensqualität eines Menschen als die subjektive Wahrnehmung einer Person über ihre Stellung im Leben in Relation zur Kultur und den Wertesystemen, in denen sie lebt, und in Bezug auf ihre Ziele, Erwartungen, Maßstäbe und Anliegen. Es handelt sich um ein breites Konzept, das in komplexer Weise beeinflusst wird durch die körperliche Gesundheit einer Person, den psychischen Zustand, die sozialen Beziehungen, die persönlichen Überzeugungen und ihre Stellung zu den hervorstechenden Eigenschaften der Umwelt. [Renneberg et al, 2006]

Es zeigt sich, dass Lebensqualität als ein multidimensionales Konstrukt verstanden wird, das physische, psychische, soziale und ökologische Aspekte unter dem Gesichtspunkt des subjektiven Wohlbefindens zusammenfasst.

Dieses Konstrukt der Lebensqualität hat neben den Modellen von Gesundheit und Krankheit in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Insbesondere durch die Fortschritte in der medizinischen Behandlung schwerster körperlicher Erkrankungen geht es zunehmend darum, aus Sicht der Patienten Lebensqualität als Kriterium zur Bewertung des Therapieerfolges heranzuziehen. [Renneberg et al, 2006]

Im Mittelpunkt des Interesses der Gesundheitswissenschaften steht daher die gesundheitsbezogene Lebensqualität. Sie beschreibt die Lebensqualität im Zusammenhang mit dem Befinden und dem Handlungsvermögen von Personen, die unter gesundheitlichen Einschränkungen leiden oder chronisch krank sind. [Bullinger et al, 2000]

Nach Schumann et al. ist die gesundheitsbezogene Lebensqualität ebenfalls ein mehrdimensionales Konstrukt, das aus 4 determinierenden Dimensionen besteht:

- Krankheitsbedingte körperliche Beschwerden
- Psychische Verfassung im Sinne von emotionaler Befindlichkeit, allgemeinem Wohlbefinden und Lebenszufriedenheit
- Erkrankungsbedingte funktionale Einschränkungen in alltäglichen Lebensbereichen wie Beruf, Haushalt und Freizeit

- Ausgestaltung zwischenmenschlicher Beziehungen und sozialer Interaktionen sowie krankheitsbedingte Einschränkungen in diesem Bereich [Schumacher et al, 2003]

Gesundheitsbezogene Lebensqualität ist das Resultat individueller Beurteilungsprozesse. Sie sollte, da sie keine festgeschriebene Größe darstellt, mit änderungssensitiven Messmethoden erhoben werden. Eine solche Messmethode stellt der St. George Respiratory Questionnaire (SGRQ) dar. Als Selbsteinschätzungsinventar ist der SGRQ in der Lage, die gesundheitsbezogene Lebensqualität anhand subjektiver Erlebnisse und Ansichten eines Individuums abzubilden.

Der SGRQ ist ein standardisierter Fragebogen, der 1991 in Großbritannien für Patienten mit Atemwegserkrankungen entwickelt wurde. [Jones et al, 1991]

Es konnte gezeigt werden, dass der SGRQ bei Patienten mit COPD eine signifikante Korrelation mit der FEV1 (Korrelationskoeffizient = 0,31 – 0,48) und der maximalen Sauerstoffaufnahme (Korrelationskoeffizient = 0,46 – 0,6) darbietet. [Hajiro et al, 1998]

Somit ist der SGRQ zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Patienten mit Atemwegserkrankungen international eines der am besten validierten Instrumentarien.

Der SGRQ besteht aus 17 Fragen, die teilweise binär oder in drei- bis fünfstufigen Antwortskalen beantwortet werden. Die Gliederung erfolgt in zwei Teile mit drei verschiedenen Skalen. Teil 1 beschäftigt sich mit den Symptomen der Krankheit, deren Häufigkeit und Wahrnehmung. Teil zwei beinhaltet Fragen zu der Aktivität der Patienten und den Auswirkungen der Erkrankung. Die drei Subskalen Symptome, Aktivität und Auswirkungen werden jeweils mit einer eigenen Punktzahl versehen. Sie können aber auch zu einer gemeinsamen Summenskala zusammengefasst werden, um das gesamte Ausmaß der Lebensqualitätsminderung durch Atemwegserkrankungen bestmöglich abzubilden. Entsprechend des von der University of London herausgegebenen Benutzerhandbuches werden nach Gewichtung der einzelnen Fragen und

Berechnung der Skalenrohwerter für alle Skalen Werte zwischen 0 und 100 beschrieben. Hierbei entspricht der Skalenwert 100 dem schlechtesten Gesundheitszustand und der Wert 0 dem bestmöglichen. [Jones et al, 2009]

2.3.7 Blutgasanalyse

Die Blutgasanalyse (BGA) ist ein diagnostisches Verfahren zur Messung der Gasverteilung bzw. Partialdrücke von Sauerstoff (O₂) und Kohlendioxid (CO₂) sowie des pH-Wertes und des Säure-Basen-Haushaltes im Blut. Sie dient der Überwachung und Steuerung von Patienten mit schweren Lungenerkrankungen, Dyspnoe und Sauerstoffmangel und findet in der intensivmedizinischen Therapie und Diagnostik ihre Anwendung.

Die Durchführung einer BGA bedingt die Entnahme einer Blutprobe. Dabei ist arteriell entnommenem Blut der Vorzug gegenüber venösem Blut zu gewähren, da venöses Blut aufgrund des geringen Sauerstoffgehalts für die Interpretation einer BGA unzureichend erscheint und speziellen Fragestellungen vorbehalten bleibt. [Striebel, 2008]

Bei der Blutentnahme besteht neben der Entnahme von arteriellem Vollblut, vorzugsweise aus der Arteria radialis oder der Arteria femoralis, die Möglichkeit der Entnahme von arterialisiertem Kapillarblut, beispielsweise aus dem hyperämisierten Ohrläppchen. Es konnte gezeigt werden, dass sich zwischen den Messwerten des Ohrkapillar- und des Arterienblutes keine gerichteten Abweichungen erkennen lassen. Somit ist die Bestimmung der arteriellen Blutgase im Kapillarblut des hyperämisierten Ohrläppchens auch bei Herz- und Lungenkranken mit ausreichender Genauigkeit möglich. [Reichel et al, 1966]

Im Rahmen der BGA besteht die Möglichkeit unter Zuhilfenahme der direkt gemessenen Werte pH, Sauerstoffpartialdruck (pO₂), Kohlendioxidpartialdruck (pCO₂), O₂-Sättigung und Hämoglobinkonzentration, abgeleitete Parameter wie die Bikarbonationenkonzentration, die Basenabweichung und den Sauerstoffgehalt des Blutes zu berechnen. [Boemke et al, 2004]

Die in der vorliegenden Studie erhobenen Basisparameter sind in Abbildung 12 dargestellt.

Blutgasanalyse	
pO ₂	Sauerstoffpartialdruck in Ruhe [mmHg]
pCO ₂	Kohlendioxidpartialdruck in Ruhe [mmHg]
SO ₂ %	Sauerstoffsättigung in Ruhe [%]
HCO ₃	Bikarbonat-Konzentration in Ruhe [mmol/L]
LTOT	Long-term oxygen therapy / Sauerstoffbedarf [l]

Abbildung 12: Parameter der Blutgasanalyse

Die Blutentnahme zur Durchführung der BGA erfolgte in dargebotenem Forschungsvorhaben an einem beliebigen mittels durchblutungsfördernder Salbe vorbehandelten hyperämisierten Ohrläppchen der Probanden. Das für die BGA verwandte Gerät ist der Stat Profile pHox Plus Analyzer der Firma Nova Biomedical aus Waltham/U.S.A.

2.4 Statistik

Die Zusammenführung der Daten der einzelnen Untersuchungen erfolgte unter Einbeziehung der patientenspezifischen Daten mit einer Microsoft Excel Datenbank. Die statistischen Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware SPSS der Firma IBM durchgeführt.

Soweit nicht anders gekennzeichnet, erfolgten die Angaben der deskriptiven Statistik mit Mittelwerten \pm Standardabweichung (SD).

Die Testung der quantitativen Parameter auf Normalverteilung erfolgte mit dem Shapiro-Wilk-Test.

Die Berechnung der Korrelation zwischen zwei quantitativen Variablen erfolgte mittels Spearmans Rangkorrelationskoeffizient.

Die Darstellung der qualitativen Variablen erfolgte mittels Kreuztabellen, wobei die statistische Auswertung mittels Chi-Quadrat-Test nach Pearson erfolgte.

Die Auswertung quantitativer Variablen zwischen den Trainingsgruppen erfolgte bei Nachweis einer Normalverteilung mittels T-Test für unverbundene Stichproben und innerhalb einer Gruppe mittels T-Test für verbundene Stichproben.

Konnte keine Normalverteilung nachgewiesen werden, erfolgte die Auswertung unter Zuhilfenahme des nichtparametrischen Mann-Whitney-U-Tests.

Gebildete Differenzen werden in dem folgenden Ergebnissteil durch das Symbol Δ (Delta) dargestellt. Es steht für die Differenz der Messwerte bestimmter Parameter von den BL-Untersuchungen zu den FU1-Untersuchungen oder den EOS-Untersuchungen und bildet die Entwicklung dieser Werte im Laufe des Vibrationstrainings ab.

3 Ergebnisse

3.1 Studienpopulation

3.1.1 Basischarakteristika

Insgesamt wurden 24 Probanden in die Studie eingeschlossen. Die Trainingsgruppe umfasste 14, die Kontrollgruppe 9 Probanden. Bei einem Probanden erfolgte aufgrund einer Exazerbation der bestehenden Krankheit, die eine stationäre Aufnahme zur Folge hatte, bereits vor Abschluss der Gruppenzuteilung der Ausschluss aus der Studie.

Von den 14 Probanden der Trainingsgruppe konnten 10 Probanden das 12-wöchige Training beenden, während 4 Probanden durch das Auftreten eines der genannten Ausschlusskriterien die Studie frühzeitig beenden mussten (Drop-out). Von den 9 Probanden der Kontrollgruppe konnten 8 ihr Training beenden. Ein Proband dieser Gruppe schied frühzeitig aus. Es zeigte sich weder ein signifikanter Unterschied bei den Drop-outs der einzelnen Probandengruppen (Chi-Quadrat=0,98 / $p=0,32$) noch bei den geschlechterspezifischen Drop-outs (Chi-Quadrat=1,43 / $p=0,23$).

		Drop-out		Gesamt
		nein	ja	
Gruppe	Kontrolle	8	1	9
	Training	10	4	14
Gesamt		18	5	23

Abbildung 13: Kreuztabelle der Drop-outs der Probandengruppen

		Drop-out		Gesamt
		nein	ja	
Geschlecht	Männlich	9	4	13
	Weiblich	9	1	10
Gesamt		18	5	23

Abbildung 14: Kreuztabelle der geschlechterspezifischen Drop-outs

Das mittlere Alter der gesamten Studienpopulation lag bei 59 ± 7 Jahren. Der jüngste Studienteilnehmer war zum Zeitpunkt der Einschlussuntersuchungen 48, der Ältteste 71 Jahre alt.

Die Altersverteilung der einzelnen Probandengruppen ergab keine signifikanten Unterschiede (Chi-Quadrat=12,50 / $p=0,71$).

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kontrolle	9	59,00	6,61	49	69
Training	14	59,57	7,56	48	71
Insgesamt	23	59,35	7,05	48	71

Abbildung 15: Altersverteilung der Probandengruppen

Die Geschlechterverteilung der Probandengruppen zeigte eine inhomogene Verteilung der Geschlechter auf Trainings- bzw. Kontrollgruppe.

In die Trainingsgruppe wurden 78,6% männliche Patienten und in die Kontrollgruppe 77,8% weibliche Patienten eingeschlossen. Der Unterschied der Geschlechterverteilung zeigte eine statistische Signifikanz (Chi-Quadrat=7,08 / $p=0,008$).

		Geschlecht		Gesamt
		männlich	weiblich	
Gruppe	Kontrolle	2	7	9
	Training	11	3	14
Gesamt		13	10	23

Abbildung 16: Kreuztabelle der Geschlechterverteilung der Probandengruppen

3.2 Schrittweiten

3.2.1 Zusammenhang von Schrittweite und Belastung

Wie bereits in Abschnitt 2.2.5 dargelegt, erfolgte vor Aufnahme des Trainings bei jedem Probanden die Durchführung eines Ermüdungstestes zur Festlegung der optimalen Anfangsschrittweite.

Anhand der Matrizen, die die individuellen Zeitwerte für jede Schrittweite des Ermüdungstestes abbilden, lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Schrittweite und der damit verbundenen Belastung für den Probanden erkennen.

Die Abbildung 17 zeigt den relativen Zeitwert des Ermüdungstestes, der unter der Annahme einer submaximalen Belastung für jede einzelne Schrittweite erreicht werden konnte. Dabei wurde der individuelle Zeitwert der Schrittweite 1 als Ausgangsbasis mit 100% abgebildet.

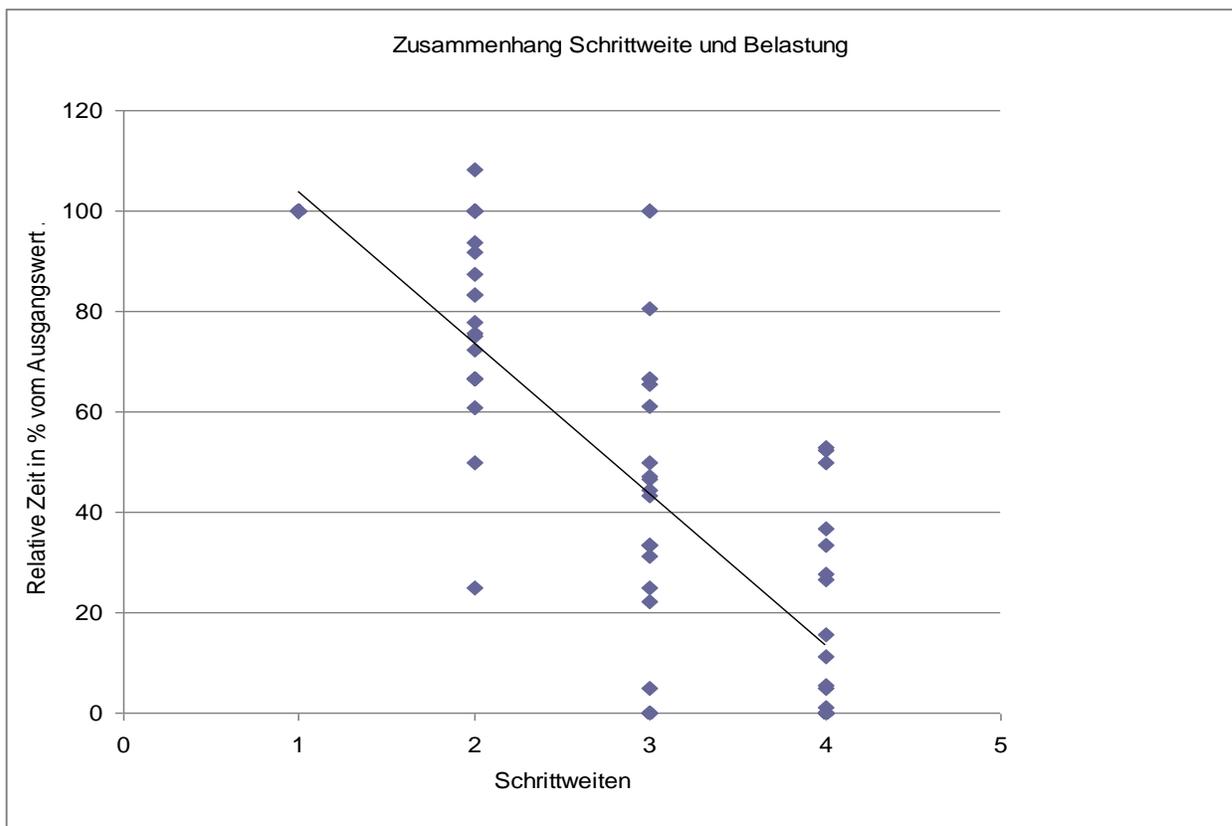


Abbildung 17: Zusammenhang von Schrittweite und Belastung

Das Bestimmtheitsmaß für einen linearen Zusammenhang ergibt $R^2=0,73$. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Schrittweite und der relativen Zeit, die auf dem Trainingsgerät verbracht wurde.

3.2.2 Schrittweiten zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Im Rahmen der zu absolvierenden Trainingseinheiten war es den Probanden gestattet, die Intensität des Trainings durch Variation der Schrittweite an das aktuelle Leistungsvermögen anzupassen.

Anhand der Abbildung 18, die als Fehlerbalkendiagramm die Schrittweiten zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten zeigt, lässt sich feststellen, dass die Probanden der Trainings- und der Kontrollgruppe im Laufe des Vibrationstrainings eine Erhöhung der mittleren Schrittweite vollzogen.

Unter Berücksichtigung des im vorigen Abschnitt dargestellten Zusammenhangs zwischen Schrittweite und Belastung zeigt sich eine Belastungssteigerung der Probanden der Trainingsgruppe im Laufe des Vibrationstrainings.

Unabhängig von der dargebotenen Trainingsfrequenz zeigt sich in beiden Gruppen eine ähnliche Entwicklung der Schrittweiten im Verlauf des Trainings ohne signifikanten Gruppenunterschied ($p=0,27$).

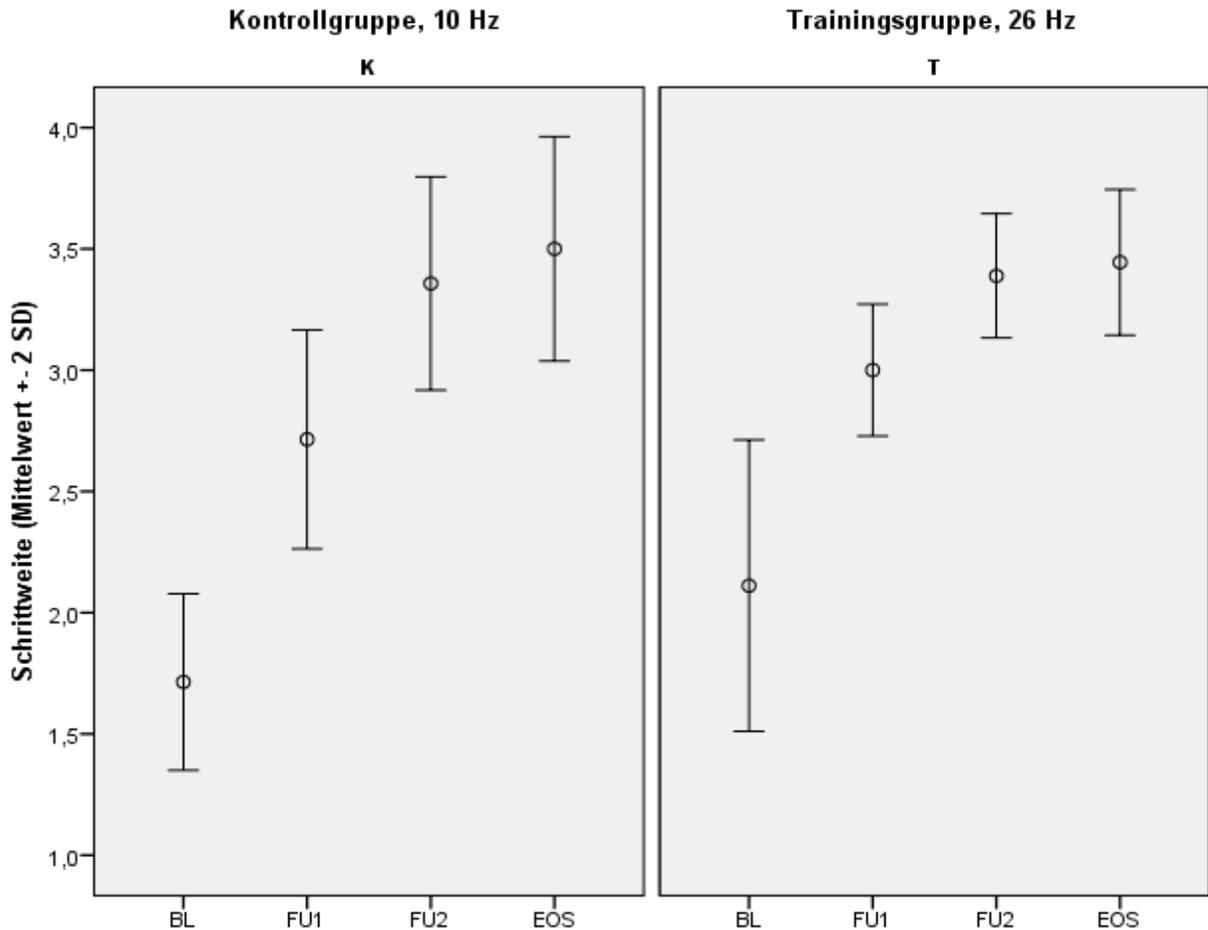


Abbildung 18: Fehlerbalkendiagramm der Schrittweiten

3.3 Klinische Testparameter

3.3.1 Lungenfunktionsdiagnostik

3.3.1.1 Forcierte Einsekundenkapazität

Die absoluten Werte der forcierten Einsekundenkapazität (FEV1) zeigten in der Trainingsgruppe eine Konstanz der Werte über den gesamten Trainingszeitraum bei einem identischen Ausgangs- und Endwert von 0,78l. In der Kontrollgruppe fiel die FEV1 im Mittel um 0,05l ab. Die statistische Auswertung der absoluten Werte

der FEV1 zeigte keine signifikanten Veränderungen in der Trainingsgruppe ($p=0,91$) oder der Kontrollgruppe ($p=0,23$). Ein Gruppenunterschied konnte nicht festgestellt werden ($p=0,63$).

Die Auswertung der relativen Werte (FEV1 in % vom Soll) zeigte nahezu identische Ergebnisse. Sowohl in der Trainingsgruppe ($p=0,93$) als auch in der Kontrollgruppe ($p=0,21$) zeigten sich keine signifikanten Veränderungen. Ein Gruppenunterschied konnte nicht dargestellt werden ($p=0,5$). Die entsprechenden Werte sind in Abbildung 19 dargestellt.

Gruppe		FEV1%_BL	FEV1%_FU1	FEV1%_FU2	FEV1%_EOS
Kontrolle	N	9	8	8	8
	Mittelwert	26,38	25,18	24,60	24,81
	Standardabweichung	5,88	3,07	4,59	6,73
Training	N	11	11	11	10
	Mittelwert	27,08	27,62	27,99	26,29
	Standardabweichung	6,62	8,61	7,11	5,97
Gesamtsumme	N	20	19	19	18
	Mittelwert	26,76	26,59	26,56	25,63
	Standardabweichung	6,14	6,81	6,26	6,17

Abbildung 19: FEV1 in % vom Soll zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

3.3.1.2 Vitalkapazität und forcierte Vitalkapazität

Die relativen Werte der Vitalkapazität (VC) und der forcierten Vitalkapazität (FVC) in % vom Soll zeigten bei beiden Probandengruppen tendenziell unterschiedliche Ergebnisse. Betrachtet man die FVC, so zeigte sich in der Trainingsgruppe keine signifikante Änderung der Werte. Innerhalb der Kontrollgruppe zeigte sich ein nicht signifikanter Abfall der Werte um 10,16% ($p=0,11$). Ein Vergleich der beiden Probandengruppen lieferte keinen signifikanten Gruppenunterschied ($p=0,12$).

Die VC zeigte in beiden Gruppen einen leichten Anstieg der relativen Werte. Weder in der Trainingsgruppe ($p=0,38$) noch in der Kontrollgruppe ($p=0,74$) fiel dieser Anstieg signifikant aus. Ein Gruppenunterschied bestand nicht ($p=0,94$).

3.3.1.3 Tiffeneau-Test

Das Verhältnis der FEV1 zur FVC (Tiffeneau-Test) war mit $34,3 \pm 7,8\%$ vor Beginn des Trainings im Mittel deutlich eingeschränkt.

Die Entwicklung dieser Lungenfunktionswerte im Verlauf des durchgeführten Trainings zeigte keine spezifischen Veränderungen. Bei der Kontrollgruppe sank der Wert des Tiffeneau-Test im Verlauf des gesamten Trainings nicht signifikant im Mittel um $3,24\%$ ($p=0,48$), während er bei der Trainingsgruppe mit einem mittleren Abfall von $0,54\%$ ($p=0,74$) nahezu konstant blieb. Die Veränderungen innerhalb der Probandengruppen sowie ein Vergleich der Wertentwicklung beider Gruppen ($p=0,7$) zeigten keine signifikanten Ergebnisse.

Gruppe		Tiffeneau-BL	Tiffeneau-FU1	Tiffeneau-FU2	Tiffeneau-EOS
Kontrolle	N	9	8	8	8
	Mittelwert	37,35	33,41	34,32	34,11
	Standardabweichung	9,23	10,03	7,84	10,49
Training	N	11	11	11	10
	Mittelwert	31,76	31,34	32,47	31,22
	Standardabweichung	5,54	6,87	5,97	6,6
Insgesamt	N	20	19	19	18
	Mittelwert	34,28	32,21	33,25	32,5
	Standardabweichung	7,76	8,15	6,68	8,4

Abbildung 20: Tiffeneau-Test in % zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

3.3.1.4 Residualvolumen und totale Lungenkapazität

Das Residualvolumen (RV) war bei allen Probanden zu jedem Untersuchungszeitpunkt deutlich erhöht (zwischen 3,25 und 9,26 Litern).

Betrachtet man die relativen Werte des RV in % vom Soll bei den Probanden, die das Training beendeten, so zeigte sich vor Aufnahme des Trainings im Mittel ein Wert von $275,2 \pm 74,2$ % vom Soll. Weder in der Trainingsgruppe ($p=0,72$), noch in der Kontrollgruppe ($p=0,49$) zeigten sich signifikante Werteveränderungen des RV im Verlauf des Vibrationstrainings. Ein signifikanter Gruppenunterschied konnte nicht nachgewiesen werden ($p=0,48$).

Gruppe		RV%-BL	RV%-FU1	RV%-FU2	RV%-EOS
Kontrolle	N	8	8	8	8
	Mittelwert	274,9	275,38	270,42	285,99
	Standardabweichung	43,41	37,82	49,63	56,60
Training	N	10	10	10	10
	Mittelwert	275,38	251,39	241,26	267,48
	Standardabweichung	94,47	62,95	93,12	73,98
Insgesamt	N	18	18	18	18
	Mittelwert	275,17	262,05	254,22	275,71
	Standardabweichung	74,17	53,26	76,34	65,62

Abbildung 21: RV in % vom Soll zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Die relativen Werte der totalen Lungenkapazität (TLC) in % vom Soll zeigen eine ähnliche Dynamik wie die des Residualvolumens und sind in Abbildung 22 dargestellt. Hierbei wurden ebenfalls nur Probanden berücksichtigt, die das Training beendeten. Die TLC ist die Summe aus RV und VC und damit direkt von den Werten des RV abhängig.

Es konnten Schwankungen der Mittelwerte im Verlauf des Vibrationstrainings festgestellt werden. Eine Signifikanz zeigte sich weder in der Trainings- ($p=0,85$) oder Kontrollgruppe ($p=0,36$) noch bei einem Vergleich beider Gruppen ($p=0,49$).

Gruppe		TLC%-BL	TLC%-FU1	TLC%-FU2	TLC%-EOS
Kontrolle	N	8	8	8	8
	Mittelwert	139,15	140,94	136,63	144,45
	Standardabweichung	21,24	21,33	20,84	27,94
Training	N	10	10	10	10
	Mittelwert	136,00	128,80	131,76	134,45
	Standardabweichung	26,43	13,34	9,07	14,45
Insgesamt	N	18	18	18	18
	Mittelwert	137,40	134,19	133,92	138,89
	Standardabweichung	23,62	17,89	15,12	21,40

Abbildung 22: TLC in % vom Soll zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Das Verhältnis des Residualvolumens zu der totalen Lungenkapazität ergab bei allen Probanden Werte zwischen 51,1% und 83,01%. Somit waren diese Werte erwartungsgemäß erhöht und lagen über den von Stocks et al. definierten Normwerten (Männer: $14+0,39 \times \text{Alter}$, Frauen: $19+0,34 \times \text{Alter}$). [Stocks et al, 1995]
Die Verlaufsentwicklung dieser Werte zeigte keine signifikanten Ergebnisse (Trainingsgruppe: $p=0,97$ / Kontrollgruppe: $p=0,85$ / Gruppenvergleich: $p=0,87$).

Bei der Betrachtung der Lungenfunktionsparameter wird deutlich, dass die Veränderungen der Messwerte sehr variabel sind und keine klaren Trends erkennen lassen.

Es bleibt somit festzustellen, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei Frequenzen von sowohl 10 Hz als auch 26 Hz keine signifikanten Veränderungen der Lungenfunktionsparameter mit sich bringt.

3.3.2 Blutgasanalyse

3.3.2.1 Sauerstoff-Langzeittherapie

Die Sauerstoff-Langzeittherapie (Long-term oxygen therapy, LTOT) zeigte bei denjenigen Probanden, die das Vibrationstraining beendeten, im Verlauf der Untersuchungen einen mittleren Mehrbedarf an Sauerstoff von $0,83 \pm 1,26$ Litern. In der Trainingsgruppe waren nach Absolvierung der 36 Trainingseinheiten drei Studienteilnehmer auf zusätzlichen Sauerstoff angewiesen, während ein Proband seinen Bedarf reduzieren konnte. In der Kontrollgruppe stieg bei 6 Probanden der Sauerstoffbedarf im Verlauf des Trainings an und bei einem Probanden konnte er reduziert werden. Innerhalb der Probandengruppen zeigten die Veränderungen im Verlauf keine statistische Signifikanz (Trainingsgruppe: $p=0,13$ / Kontrollgruppe: $p=0,06$).

Ein Vergleich der beiden Gruppen, bezogen auf die Differenz des Sauerstoffbedarfes zu den Untersuchungszeitpunkten BL und EOS, ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p=0,85$).

Gruppe		LTOT-BL	LTOT-FU1	LTOT-FU2	LTOT-EOS
Kontrolle	N	9	8	8	8
	Mittelwert	1,83	2,44	2,63	2,63
	Standardabweichung	1,62	1,40	1,66	1,66
Training	N	11	11	11	10
	Mittelwert	0,77	1,50	1,32	1,50
	Standardabweichung	1,10	1,53	1,38	1,49
Insgesamt	N	20	19	19	18
	Mittelwert	1,25	1,89	1,87	2,00
	Standardabweichung	1,42	1,51	1,60	1,62

Abbildung 23: LTOT in l zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Die Ergebnisse zeigen, dass das durchgeführte Ganzkörpervibrationstraining unabhängig vom Frequenzbereich des Trainings mit einer gesteigerten Flussrate des zugeführten Sauerstoffs beim Trainierenden verbunden war.

Diese Beobachtung impliziert, dass das Vibrationstraining über eine Stimulation der Muskulatur den Sauerstoffbedarf des Körpers erhöht und daher mit einer nicht zu vernachlässigenden Belastung des kardiorespiratorischen Systems des Trainierenden einhergeht.

3.3.2.2 Sauerstoffpartialdruck

Die Bestimmung des pO₂ ergab in der vorliegenden Studie eine mittlere Zunahme des Sauerstoffpartialdrucks um 7,48 mmHg im arterialisierten Blut des hyperämisierten Ohrläppchens im Verlauf der Untersuchungen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Zunahme des pO₂ in der Trainingsgruppe (8,35 mmHg) im Mittel höher war als in der Kontrollgruppe (6,68 mmHg). Innerhalb der Probandengruppen erreichten die Veränderungen im Verlauf nicht das Signifikanzniveau (Trainingsgruppe: p=0,08 / Kontrollgruppe: p=0,09).

Vergleicht man beide Gruppen im Bezug auf die Differenz des pO₂ zu den Untersuchungszeitpunkten BL und EOS, ergibt sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied (p=0,64).

Gruppe		pO ₂ -BL	pO ₂ -FU1	pO ₂ -FU2	pO ₂ -EOS
Kontrolle	N	9	8	8	8
	Mittelwert	64,83	66,46	77,32	71,51
	Standardabweichung	11,79	10,26	12,53	7,10
Training	N	10	11	11	10
	Mittelwert	60,87	66,3	65,40	69,22
	Standardabweichung	6,06	9,05	12,28	9,86
Insgesamt	N	19	19	19	18
	Mittelwert	62,75	66,37	70,42	70,23
	Standardabweichung	9,18	9,30	13,47	8,58

Abbildung 24: pO₂ in mmHg zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

3.3.3 Schweregradeinteilungen

3.3.3.1 BODE-Index

Bei der Betrachtung des BODE-Index wurden nur Probanden abgebildet, die das Training und die Abschlussuntersuchungen beendeten. Hierbei ist eine mittlere Abnahme der Gesamtpunktzahl der multidimensionalen Schweregradeinteilung der COPD um 0,39 Punkte zu beobachten.

Die Veränderungen erreichten weder in der Trainings-, noch in der Kontrollgruppe das Signifikanzniveau (Trainingsgruppe: $p=0,27$ / Kontrollgruppe: $p=0,2$ / Gruppenvergleich: $p=0,95$).

Anhand der Abbildung 25 wird deutlich, dass es in der Kontrollgruppe bei zwei Probanden im Laufe des Trainings zu einer Verminderung des BODE-Scores kam. In der Trainingsgruppe kam es bei drei Probanden zu einer Verminderung und bei einem Probanden zu einer Erhöhung des Index.

Eine Abnahme des BODE-Scores entspricht einer Verbesserung des Schweregrades einer COPD und geht mit einer Erniedrigung der COPD-bedingten Mortalität einher.

Es lässt sich abschließend feststellen, dass es im Laufe des Trainings unabhängig von der Trainingsfrequenz bei 5 Probanden zu einer Verminderung des BODE-Scores kam.

	Anzahl der Patienten mit Abnahme des BODE-Scores (≥ 1 Punkt) im Verlauf des Trainings	Anzahl der Patienten ohne Veränderungen des BODE-Score (± 0 Punkte) im Verlauf des Trainings	Anzahl der Patienten mit Zunahme des BODE-Scores (≥ 1 Punkt) im Verlauf des Trainings
Kontrollgruppe, 10 Hz	2	6	0
Trainingsgruppe, 26Hz	3	6	1

Abbildung 25: Veränderungen des BODE-Scores im Verlauf

3.3.3.2 MMRC

Der MMRC nahm in der vorliegenden Studienpopulation im Mittel um 0,18 Punkte ab. Dabei waren die Mittelwerte der Trainingsgruppe vor bzw. nach Abschluss des Trainings konstant bei einem Punktwert von drei. Die Kontrollgruppe startete auf einem niedrigeren Niveau der subjektiv empfundenen Luftnot ($2,78 \pm 0,44$) und zeigte eine nicht signifikante Veränderung der Punktzahl des MMRC nach Abschluss der Trainingseinheiten ($p=0,2$). Ein signifikanter Gruppenunterschied bestand nicht ($p=0,2$).

Nimmt man die Klassifikation der COPD nach GOLD von 2013, so kam es in der Kontrollgruppe bei zwei Patienten durch die Verbesserung des MMRC zu einem Klassenswitch. Vor Trainingsbeginn gehörten die zwei Probanden wie alle anderen Teilnehmer der Patientengruppe D an (hohes Risiko, mehr Symptome). Nach Abschluss des Trainings erfolgte die Zuteilung der zwei Probanden in die Patientengruppe C (hohes Risiko, weniger Symptome), bedingt durch eine Verbesserung des MMRC auf einen Punktwert ≤ 1 .

Gruppe		MRC-BL	MRC-EOS
Kontrolle	N	9	8
	Mittelwert	2,78	2,38
	Standardabweichung	0,44	0,91
	Median	3,00	3,00
Training	N	10	9
	Mittelwert	3,00	3,00
	Standardabweichung	0,00	0,00
	Median	3,00	3,00
Insgesamt	N	19	17
	Mittelwert	2,89	2,71
	Standardabweichung	0,31	0,68
	Median	3,00	3,00

Abbildung 26: MMRC zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Da der Punktwert des MMRC ein Bestandteil des BODE-Index ist, sind diese Parameter direkt miteinander verknüpft. Die Differenz der beiden Parameter ergab innerhalb der Kontrollgruppe einen Korrelationskoeffizienten von 1,0 und damit eine signifikante Korrelation ($p=0,01$). Es lässt sich somit schlussfolgern, dass die Verbesserungen des BODE-Scores in der Kontrollgruppe in erster Linie durch eine Verbesserung des MMRC bedingt sind.

Innerhalb der Trainingsgruppe zeigte sich eine starke Korrelation (Korrelationskoeffizient 0,76) zwischen dem Δ BODE-Index und dem Δ 6MWD. Das bedeutet, dass die Verbesserung des Bode-Index innerhalb der Trainingsgruppe mit einer Verbesserung der 6MWD in Zusammenhang steht.

3.3.4 6-Minuten-Gehstrecke

Wie in Abbildung 27 illustriert, erbrachte die 6-Minuten-Gehstrecke (6MWD) unterschiedliche Ergebnisse in den beiden Probandengruppen.

Vergleicht man die Ergebnisse der BL-Untersuchungen mit denen der EOS-Untersuchungen und bildet die Differenz (Δ 6MWD EOS-BL), so zeigt sich in der Kontrollgruppe ein nicht signifikanter Gehstreckenverlust ($p=0,59$) und in der Trainingsgruppe ein nicht signifikanter Gehstreckenzugewinn ($p=0,13$) ohne erkennbaren Gruppenunterschied ($p=0,13$).

Gruppenspezifische Unterschiede ergeben sich erst bei einem Vergleich der BL-Untersuchung mit der ersten Folgeuntersuchung (FU1). Hierbei zeigt sich, dass es innerhalb der ersten 4 Trainingswochen in der Trainingsgruppe zu einem mittleren, statistisch signifikanten Anstieg der 6MWD um $27,8 \pm 32,4$ Meter kam ($p=0,01$). In demselben Zeitraum konnten in der Kontrollgruppe keine signifikanten Veränderungen dargestellt werden ($p=0,6$).

Trotz der aufgezeigten Unterschiede in der Entwicklung der 6MWD ergab eine statistische Betrachtung dieser Gehstreckenveränderungen in den ersten 4 Trainingswochen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen, bedingt durch geringe Fallzahlen und die hohe Standardabweichung ($p=0,17$).

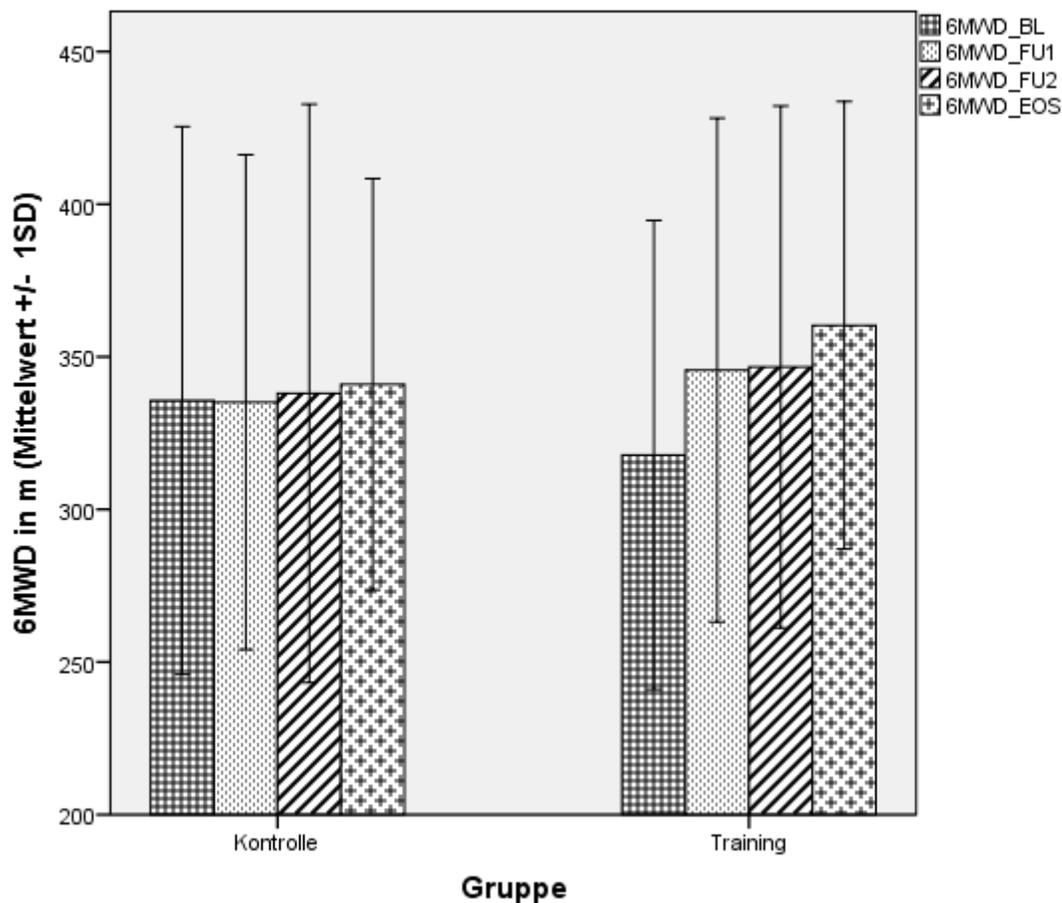


Abbildung 27: 6MWD in m \pm 1 SD beider Gruppen zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	8	-9,12	45,41
Training	10	28,20	53,10
Insgesamt	18	11,61	52,02

Abbildung 28: Δ EOS-BL, 6MWD in m

Die Ergebnisse der jeweils nach der 6MWD erhobenen Borg-Skala zeigten bei einem Großteil der Patienten, dass die subjektiv empfundene Belastungsintensität der Gehstrecke im Verlauf des Vibrationstrainings im Vergleich zur BL-Untersuchung abnahm.

Insgesamt empfanden 10 Probanden die subjektive Belastung durch die 6-Minuten-Gehstrecke nach Abschluss des Trainings geringer als vor Aufnahme des Trainings. Bei 5 Probanden blieb die empfundene Belastung gleich und bei drei Probanden stieg sie geringfügig an. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Probandengruppen bestand dabei nicht ($p=0,68$).

Dies impliziert, dass ein Vibrationstraining zu einer Verminderung der subjektiv empfundenen Belastung bei gleichbleibender oder erhöhter Belastungsintensität führen kann und könnte auf einen Trainingseffekt durch das Vibrationstraining selbst bei der niedrigen Trainingsintensität hindeuten.

	Anzahl der Probanden mit Verbesserung der Borg-Skala (≥ 1 Punkt) im Verlauf des Trainings	Anzahl der Probanden ohne Veränderungen der Borg-Skala (± 0 Punkte) im Verlauf des Trainings	Anzahl der Probanden mit Verschlechterung der Borg-Skala (≥ 1 Punkt) im Verlauf des Trainings
Kontrollgruppe, 10 Hz	6	1	1
Trainingsgruppe, 26 Hz	4	4	2

Abbildung 29: Veränderungen der Borg-Skala im Verlauf

Abschließend bleibt festzustellen, dass es in der Trainingsgruppe innerhalb der ersten 4 Trainingswochen zu einer signifikanten Verbesserung der 6-Minuten-Gehstrecke kam, während die Werte der Kontrollgruppe keine gerichteten Veränderungen erkennen ließen.

3.3.5 Sprungplattenanalyse

3.3.5.1 Single-2-Leg-Jump

Die Ergebnisse des Single-2-Leg-Jump (S2LJ) lassen in der Trainingsgruppe eine stetige Verbesserung der relativen maximalen Leistung (Pmax/KG) gemessen am individuellen Körpergewicht zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten erkennen. Die Werte der Kontrollgruppe stagnierten über den gesamten Zeitraum. Wie Abbildung 31 zeigt, kam es in der Trainingsgruppe tendenziell zu einer mittleren Zunahme der relativen maximalen Leistung um $2,45 \pm 3,58$ W/kg ($p=0,06$), was eine Leistungszunahme um 8,8% bedeutet.

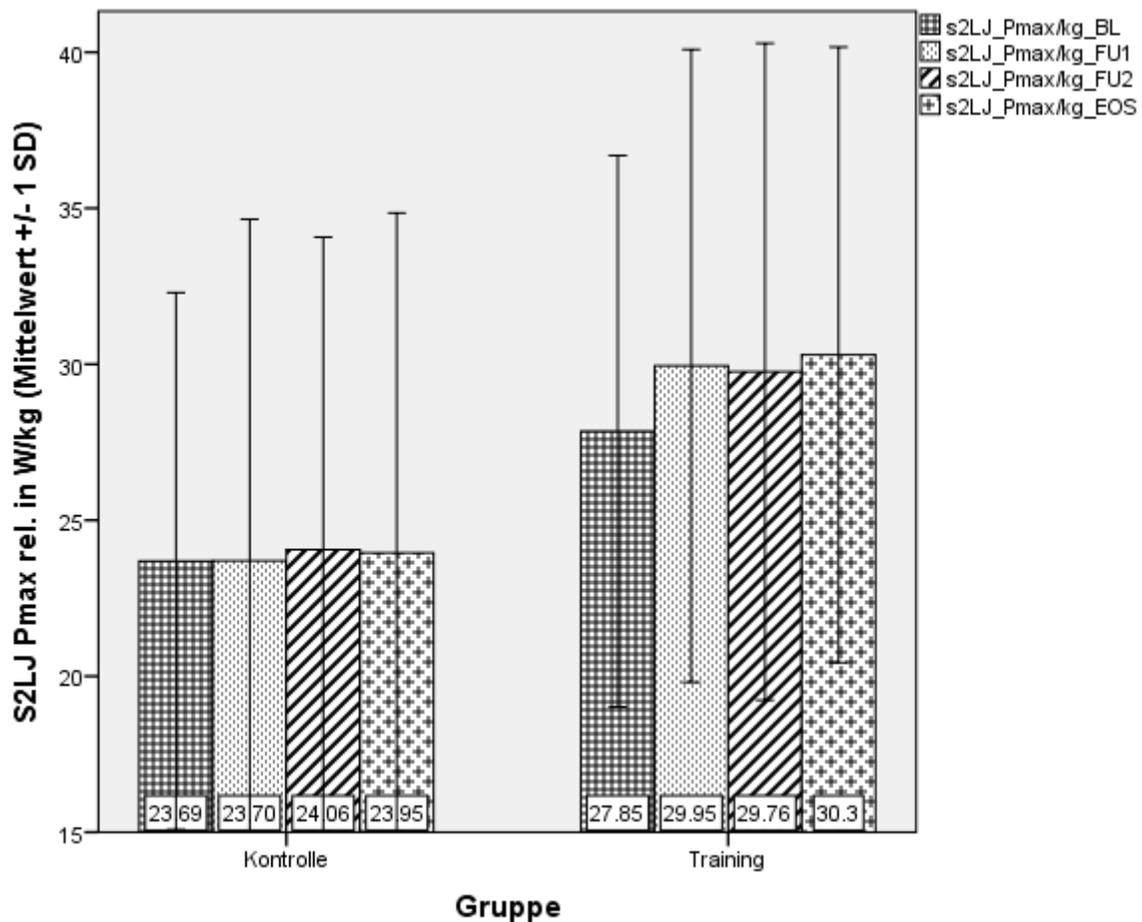


Abbildung 30: Relative maximale Leistung des S2LJ in W/kg

In der Kontrollgruppe kam es nicht zu einer signifikanten Leistungszunahme (Zunahme um 1,1%, $0,26 \pm 3,81$ W/kg, $p=0,85$).

Aufgrund der geringen Fallzahl und der Höhe der SD ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Probandengruppen erkennbar ($p=0,22$).

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	8	0,26	3,81
Training	10	2,45	3,58
Insgesamt	18	1,47	3,74

Abbildung 31: Δ EOS-BL, Relative maximale Leistung des S2LJ in W/kg

Anders verhält es sich mit den Ergebnissen eines Vergleiches der BL-Untersuchung mit der FU1-Untersuchung. Eliminiert man alle Ausreißer, die über zwei Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt liegen, zeigt sich, dass die Trainingsgruppe nach den ersten 4 Wochen Vibrationstraining die relative maximale Leistung um $1,98 \pm 2,6$ W/kg signifikant steigern konnte ($p=0,03$). Diese Steigerung bedeutet eine Leistungszunahme um 7,12% und zeigt, dass der Großteil der Leistungssteigerung innerhalb der ersten 4 Wochen vollbracht wurde. In der Kontrollgruppe zeigten sich im gleichen Zeitraum keine signifikanten Veränderungen ($p=0,99$) (Abbildung 32).

Ein signifikanter Gruppenunterschied bezüglich des Leistungsausgangsniveaus konnte nicht nachgewiesen werden ($p=0,62$).

Es besteht eine signifikante Verbesserung der relativen maximalen Leistung des S2LJ in der Trainingsgruppe innerhalb der ersten 4 Wochen. Weiterhin besteht ein signifikanter Gruppenunterschied in der Zunahme der relativen maximalen Leistung innerhalb der ersten 4 Wochen ($p=0,004$) durch ein Vibrationstraining bei 26 Hz verglichen mit einem Vibrationstraining bei 10 Hz.

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	7	-1,13	1,35
Training	11	1,98	2,60
Insgesamt	18	0,77	2,66

Abbildung 32: Δ FU1-BL, Relative maximale Leistung des S2LJ in W/kg

Die maximale Leistung (Pmax) des S2LJ nahm in der Trainingsgruppe tendenziell zu. Die Verbesserung der Trainingsgruppe um $0,18 \pm 0,28$ W ($p=0,08$) entspricht einem Trend zur Zunahme der maximalen Leistung um 8,21% über den gesamten Trainingszeitraum. Die Kontrollgruppe verbesserte sich nicht signifikant um $0,02 \pm 0,24$ W ($p=0,79$). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Probandengruppen ($p=0,23$).

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	8	0,02	0,24
Training	10	0,18	0,28
Insgesamt	18	0,11	0,27

Abbildung 33: Δ EOS-BL, Maximale Leistung des S2LJ in W

Vergleicht man die Ergebnisse der BL-Untersuchungen mit den Ergebnissen der FU1-Untersuchungen, so zeigt sich bei der Trainingsgruppe eine signifikante Zunahme der Pmax um $0,15 \pm 0,2$ W ($p=0,04$). Dies entspricht einer Zunahme der maximalen Leistung um 6,84%. Analog zu der relativen maximalen Leistung erfolgte der Großteil der gesamten Leistungssteigerung innerhalb der ersten 4 Wochen (83,3%).

In der Kontrollgruppe zeigte sich eine nicht signifikante Abnahme der mittleren Pmax ($0,006 \pm 0,2$ W, $p=0,93$). Mit einem p-Wert von 0,12 ergab dieser Vergleich der Probandengruppen keine Signifikanz. Die entsprechenden Ergebnisse liefert Abbildung 34.

Die Ergebnisse dieser Betrachtung zeigen, dass es in der Trainingsgruppe über den gesamten Zeitraum des Vibrationstrainings zu einer Verbesserung sowohl der maximalen Leistung (Pmax) als auch der relativen maximalen Leistung (Pmax rel.) des S2LJ kam. Dabei waren die Verbesserungen innerhalb der ersten 4 Wochen signifikant.

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	8	-0,006	0,20
Training	11	0,15	0,20
Insgesamt	19	0,08	0,21

Abbildung 34: Δ FU1-BL, Maximale Leistung des S2LJ in W

3.3.5.2 Chair-Rising-Test

Die Ergebnisse der maximalen Leistung Pmax in Kilowatt (kW) des Chair-Rising-Test (CRT) sind in Abbildung 35 zusammengefasst.

Gruppe		Pmax-BL	Pmax-FU1	Pmax-FU2	Pmax -EOS
Kontrolle	Mittelwert	0,39	0,41	0,44	0,44 (p=0,019)
	Standardabweichung	0,08	0,08	0,07	0,08
	N	9	8	8	8
Training	Mittelwert	0,66	0,67	0,74	0,79 (p=0,04)
	Standardabweichung	0,26	0,26	0,28	0,26
	N	12	10	11	10
Insgesamt	Mittelwert	0,54	0,56	0,61	0,63
	Standardabweichung	0,24	0,24	0,26	0,26
	N	21	18	19	18

Abbildung 35: Pmax in kW des CRT zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

Es ist erkennbar, dass beide Probandengruppen ihre maximale Leistung im CRT im Verlauf des Vibrationstrainings steigern konnten.

Die Trainingsgruppe verbesserte sich über den gesamten Trainingszeitraum signifikant von $0,66 \pm 0,26$ kW auf $0,79 \pm 0,26$ kW ($p=0,04$).

Die Kontrollgruppe verbesserte ihre mittlere maximale Leistung ebenfalls signifikant ($p=0,019$).

Zu erwähnen ist der Leistungsunterschied der beiden Probandengruppen zu Beginn des Trainings. Während die Kontrollgruppe zum Zeitpunkt der BL-Untersuchungen eine mittlere P_{max} von $0,39 \pm 0,08$ Kilowatt (kW) erbrachte, leistete die Trainingsgruppe vor Aufnahme des Trainings eine mittlere P_{max} von $0,66 \pm 0,26$ kW. Dieser Unterschied ist signifikant ($p=0,005$).

Die Trainingsgruppe konnte ihre mittlere maximale Leistung im Verlauf des Trainings um 0,08 kW steigern, was eine Leistungssteigerung um 12,12% bedeutet. In der Kontrollgruppe kam es zu einer Steigerung der mittleren maximalen Leistung um 0,06 kW, was einer Leistungssteigerung um 15,38% entspricht. Ein statistisch signifikanter Gruppenunterschied bestand dabei nicht ($p=0,59$), wobei in dieser Betrachtung nur Probanden berücksichtigt wurden, die das Training beendeten.

Die Ergebnisse der relativen maximalen Leistung P_{max} rel. in W/kg des CRT liefert die Abbildung 36.

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	8	0,99	1,06
Training	10	0,99	1,17
Insgesamt	18	0,99	1,09

Abbildung 36: Δ EOS-BL, Relative maximale Leistung des CRT in W/kg

Es ist erkennbar, dass beide Probandengruppen die relative maximale Leistung des CRT bezogen auf das Körpergewicht im Verlauf des Trainings signifikant

verbessern konnten (Trainingsgruppe: $p=0,03$ / Kontrollgruppe: $p=0,03$). Die Verbesserungen beider Gruppen waren nahezu identisch ($p=0,99$).

Auch bei dieser Betrachtung zeigte sich ein höheres mittleres Leistungsausgangsniveau der Trainingsgruppe ($8,62 \pm 3,03$ W/kg) im Vergleich zu der Kontrollgruppe ($6,74 \pm 1,52$ W/kg) mit einem statistischen Trend ($p=0,08$).

Gruppe		CRT-Time-per-Test-BL	CRT-Time-per-Test-FU1	CRT-Time-per-Test-FU2	CRT-Time-per-Test-EOS
Kontrolle	N	9	8	8	8
	Mittelwert	2,48	1,95	1,86	1,80
	Standardabweichung	0,71	0,50	0,38	0,32
Training	N	12	10	11	10
	Mittelwert	2,35	2,21	1,91	1,87
	Standardabweichung	0,66	0,46	0,50	0,54
Insgesamt	N	21	18	19	18
	Mittelwert	2,40	2,09	1,89	1,84
	Standardabweichung	0,66	0,48	0,44	0,44

Abbildung 37: Zeit pro Test in s des CRT zu den Untersuchungszeitpunkten

Die Abbildung 37 zeigt die Ergebnisse des CRT Time-per-Test, also die Zeit, die die Probanden im Mittel benötigten, um einen kompletten Aufstehvorgang wie unter 2.3.2 beschrieben durchzuführen. Es zeigt sich, dass beide Probandengruppen die Zeit, die pro Aufstehvorgang benötigt wurde, im Verlauf des Trainings deutlich verbessern konnten. Beide Gruppen verbesserten sich diesbezüglich signifikant (Trainingsgruppe: $p=0,006$ / Kontrollgruppe: $p=0,044$). Ein Vergleich der Ergebnisse beider Gruppen untereinander ergab keine statistische Signifikanz ($p=0,47$).

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der beiden Parameter, maximale Leistung und Time-per-Test des CRT, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,682 eine signifikante Korrelation auf dem 0,01 Niveau und erlauben folgende Aussage: Eine Verbesserung der maximalen Leistung geht einher mit einer Verbesserung der Geschwindigkeit des Aufstehvorgangs im CRT.

3.3.6 St. George Respiratory Questionnaire

Gruppe		Symptomscore	Aktivitätsscore	Auswirkungsscore	Gesamtscore
Kontrolle	Mittelwert	4,39	-1,05	1,15	-0,61
	N	7	7	8	7
	Standardabweichung	14,82	7,11	10,22	10,24
Training	Mittelwert	-2,87	-0,93	-3,87	-4,16
	N	9	9	8	9
	Standardabweichung	10,47	2,34	6,38	3,36
Insgesamt	Mittelwert	0,30	-0,98	-1,35	-2,62
	N	16	16	16	16
	Standardabweichung	12,66	4,81	8,63	7,16

Abbildung 38: Δ EOS-BL, SGRQ exklusive Ausreißer

Die Ergebnisse der Auswertung des SGRQ sind in der Abbildung 38 aufgelistet.

Anhand dieser Tabelle wird gezeigt, um welchen mittleren Punktwert sich die jeweilige Probandengruppe im Verlauf des Trainings in den einzelnen Unterkategorien des SGRQ verbessert oder verschlechtert hat. Ein positiver Wert bedeutet in diesem Zusammenhang eine Zunahme des SGRQ-Punktwertes und ist mit einer Verschlechterung der subjektiv empfundenen Lebensqualität gleichzusetzen. Analog dazu ist eine Verbesserung der Lebensqualität durch einen negativen Wert in der Tabelle gekennzeichnet. Ausreißer, die außerhalb von zwei Standardabweichungen lagen, wurden bei der Auswertung des SGRQ eliminiert.

Der Symptomscore zeigte weder in der Kontroll- ($p=0,46$) noch in der Trainingsgruppe ($p=0,9$) signifikante Veränderungen im Verlauf des Vibrationstrainings.

Der Aktivitätsscore verbesserte sich bei beiden Probandengruppen nicht signifikant um $1,05 \pm 7,11$ ($p=0,71$) bzw. $0,93 \pm 2,34$ ($p=0,27$) Punkte.

Die Veränderungen des Auswirkungsscores erreichten ebenfalls weder in der Kontroll- ($p=0,76$) noch in der Trainingsgruppe ($p=0,43$) das Signifikanzniveau.

Abschließend bleibt die Betrachtung des Gesamtscores. In der Kontrollgruppe verbesserte sich der mittlere Gesamtscore nicht signifikant um $0,61 \pm 10,24$ ($p=0,46$) und in der Trainingsgruppe um $4,16 \pm 3,36$. Ein Vergleich der beiden Probandengruppen zeigte weder innerhalb der einzelnen Scorebereiche noch bei der Betrachtung des Gesamtscores signifikante Gruppenunterschiede.

Betrachtet man die Trainingsgruppe separat und vergleicht den Punktwert des SGRQ zum Zeitpunkt der BL-Untersuchungen mit dem der EOS-Untersuchungen, so zeigt sich, dass es in der Trainingsgruppe zu einer Abnahme des Gesamtscores von $68 \pm 4,53$ Punkten auf $63,84 \pm 2,81$ Punkte kam. Der T-Test für verbundene Stichproben ergab diesbezüglich einen hochsignifikanten Unterschied ($p=0,006$) und zeigt, dass ein Vibrationstraining bei 26 Hz zu einer signifikanten Verbesserung der Lebensqualität bei Patienten im fortgeschrittenen Stadium einer COPD beitragen kann.

Abbildung 39 zeigt die entsprechenden Ergebnisse nach Elimination von Ausreißern.

Gesamtscore		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Training	SGRQ-BL	68,00	8	4,53	1,60
	SGRQ-EOS	63,84	8	2,81	0,99

Abbildung 39: Mittelwerte des Gesamtscore des SGRQ der Trainingsgruppe

4 Diskussion

4.1 Stellenwert des Ganzkörpervibrationstrainings

In dem vergangenen Jahrzehnt ist das Interesse an den körperlichen Auswirkungen und den Einsatzmöglichkeiten eines körperlichen Trainings zur Linderung chronischer Erkrankungen stark gestiegen. Das Ganzkörpervibrationstraining ist dabei ein spezielles Training für Patienten mit eingeschränkter Mitarbeitsfähigkeit, das bisher nur für einzelne Erkrankungen untersucht worden ist. Es wurden Studien veröffentlicht, die den Nutzen des Vibrationstrainings im Bereich der geriatrischen Medizin untersuchten. Osteoporoseprävention und neurologische Rehabilitation standen dabei im Mittelpunkt der Forschung.

Jedoch erscheint aufgrund der entstehenden Muskelstimulation und der damit verbundenen Steigerung der Muskelkraft und –masse ein Vibrationstraining bei Patienten mit generalisierter Muskelatrophie als besonders sinnvoll. Ein solches Kollektiv stellen Patienten im fortgeschrittenen Stadium einer COPD dar.

Vor diesem Hintergrund entschieden wir uns, ein Ganzkörpervibrationstraining bei Patienten mit fortgeschrittener COPD durchzuführen und die Trainingseffekte anhand diverser klinischer Testparameter aufzuzeichnen.

Zu Beginn der Studie im Jahr 2009 gab es noch keine publizierten Daten zu dieser Trainingsform bei COPD. Mittlerweile konnten Glöckl et al. im Jahre 2011 die Effekte eines Vibrationstrainings im Rahmen einer multimodalen Rehabilitation bei Patienten mit schwerer COPD darstellen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass eine multimodale Rehabilitation in Kombination mit einem Ganzkörpervibrationstraining einer alleinigen multimodalen Rehabilitation im Bezug auf eine Verbesserung der 6MWD sowie der Aufstehgeschwindigkeit des Chair-Rising-Testes signifikant überlegen ist. [Glöckl et al, 2011]

Weiterhin untersuchte diese Forschungsgruppe, ob die Ursache des größeren Leistungszugewinns durch ein zusätzlich durchgeführtes Vibrationstraining auf die

veränderte Körperzusammensetzung (Zunahme der Muskelmasse) zurückzuführen ist. Die Ergebnisse der Bioelektrischen Impedanzanalyse ließen jedoch keine signifikanten Unterschiede erkennen. Somit lässt sich der zusätzliche Leistungszuwachs durch ein 3-wöchiges Vibrationstraining nicht mit einer Zunahme der Muskelmasse erklären und die zugrundeliegenden Mechanismen sind weiterhin unklar. [Glöckl et al, 2013]

Eine weitere Studie aus dem Jahr 2014 verglich anhand eines an COPD erkrankten Patientenkollektivs die Auswirkungen eines Ganzkörpervibrationstrainings (25 Hz) mit denen eines Scheintrainings, bei dem die Patienten auf der Trainingsplattform standen, jedoch keine Vibrationen in den Körper eingeleitet wurden. Hierbei zeigte sich innerhalb der Verum-Gruppe eine signifikante Verbesserung in der Ausführung alltäglicher Aktivitäten (Chair-Rising-Test, Schrittlänge und Schrittgeschwindigkeit). Diese Beobachtung zeigt, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei COPD-Patienten zu einer Verbesserung der körperlichen Aktivität führen kann, wobei ein Placebo-Effekt für diese Veränderungen nahezu ausgeschlossen werden kann. [Furness et al, 2014]

4.2 Interpretation der erhobenen Daten

4.2.1 Studienpopulation

Die Gruppenzuteilung zeigte in der vorliegenden Studie einen weitestgehend homogenen Charakter. Es bestanden bei der Gruppengröße, der Altersverteilung und der Drop-out-Rate keine signifikanten Unterschiede. Die Geschlechterzuteilung zu den einzelnen Probandengruppen zeigte jedoch einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Trainings- und Kontrollgruppe.

Diese ungleiche Geschlechterzuteilung stellt eine Limitation der vorliegenden Studie dar. Sie ist der geringen Probandenanzahl und dem gewählten Randomisierungsverfahren (Blockrandomisierung) sowie der Randomisierungssoftware (RITA) geschuldet.

Ursachen für die geringe Fallzahl sind neben dem Auftreten von Abbruchkriterien Schwierigkeiten in der Rekrutierung der Probanden. Es ließen sich in dem vorher definierten Rekrutierungszeitraum keine weiteren Probanden finden, die die Einschlusskriterien erfüllten, zu einem 3-monatigen ambulanten Vibrationstraining bereit bzw. in der körperlichen Verfassung waren und über ausreichende finanzielle Mittel verfügten, um die Fahrtkosten aufzubringen.

Bezüglich der Randomisierung lässt sich nicht abschließend klären, inwieweit die Verwendung einer einfachen uneingeschränkten Randomisierung oder eines anderen eingeschränkten Randomisierungsverfahrens die Selektionsbias hätte vermeiden können.

Weiterhin bleibt unklar, wie sich der genannte Störeffekt der Geschlechterverteilung auf die klinischen Testparameter auswirkte. Es scheint jedoch sehr wahrscheinlich, dass die aufgezeigten Unterschiede der Ausgangswerte der 6MWD und der Sprungplattenanalyse durch die inhomogene Geschlechterzuteilung beeinflusst wurden. Dies erschwerte den Vergleich der Probandengruppen und ließ außer bei der relativen maximalen Leistung des S2LJ keine signifikanten Gruppenunterschiede erkennen.

4.2.2 Schrittweiten

Während der Durchführung der Trainingseinheiten wurde die Beobachtung gemacht, dass auch bei stark eingeschränkten COPD-Patienten ein Zusammenhang zwischen der Schrittweite und der individuell empfundenen Belastung besteht. Es konnte gezeigt werden, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Schrittweite und der zeitlichen Trainingsintervalldauer besteht. Mit Zunahme der Schrittweite verkürzte sich das auf dem Vibrationstrainer tolerierte zeitliche Trainingsintervall.

Diese Beobachtung impliziert, dass die Schrittweite mit der subjektiv empfundenen Belastung korreliert. Betrachtet man nun die Werte der Schrittweiten der Probanden zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, lässt sich feststellen, dass es in beiden Probandengruppen im Laufe des Trainings zu einem Anstieg der

mittleren Schrittweite kam. Diese Beobachtung belegt, dass ein Vibrationstraining sowohl bei 10 Hz als auch bei 26 Hz mit einem Trainingseffekt verbunden ist, der zu einer Steigerung der maximal tolerierbaren Belastungsintensität im Laufe des Trainings führt.

4.2.3 Lungenfunktionsdiagnostik

Die Ergebnisse der Lungenfunktionsdiagnostik ergaben im vorliegenden Forschungsvorhaben keine statistisch signifikanten Veränderungen. Forcierte Einsekundenkapazität, Vitalkapazität, Residualvolumen, Tiffeneau-Test und totale Lungenkapazität ließen zwar im Verlauf des Vibrationstraining Mittelwertschwankungen erkennen, jedoch ergab ein Vergleich der Ausgangs- mit den Endwerten keine statistisch signifikanten Unterschiede, weder zwischen den einzelnen Probandengruppen noch im Verlauf der Untersuchungen.

Bereits im Jahre 2009 konnten Rietschel et al. in einer Studie zur Verbesserung der Muskelfunktion an cystischer Fibrose erkrankter Probanden feststellen, dass ein 3-monatiges Vibrationstraining bei Frequenzen zwischen 20 und 25 Hz zu keiner signifikanten Verbesserung der Lungenfunktion (FEV1 und FVC) führt. [Rietschel et al, 2009]

Ebenfalls konnte in der Vergangenheit bereits gezeigt werden, dass die gesundheitsbezogene Lebensqualität, die sich bei dem vorliegenden Probandenkollektiv teilweise signifikant verbesserte und an anderer Stelle diskutiert wird, einen von der Lungenfunktion unabhängigen Parameter in der Beurteilung des Erfolges einer therapeutischen Intervention bei Patienten mit COPD darstellt. [Würtemberger et al, 2001]

4.2.4 Sauerstoff-Langzeittherapie und Sauerstoffpartialdruck

Die Sauerstoff-Langzeittherapie (LTOT) ist eine etablierte Behandlungsmethode für Patienten mit COPD. Zwei große randomisierte Studien aus den 80er Jahren, die British Medical Research Council (MRC) Studie und die Nocturnal Oxygen

Therapy Trial (NOTT) etablierten die Sauerstofftherapie bei einer Applikationsdauer von mindestens 15 Stunden pro Tag als mortalitätsreduzierenden Faktor.

Die Indikation zur LTOT ist gegeben, wenn nach adäquater Therapie und Vermeidung inhalativer Noxen eine chronische Hypoxämie nachweisbar ist. Eine solche Hypoxämie liegt vor, wenn der pO₂ unter Ruhebedingungen während einer stabilen Krankheitsphase mehrfach ≤ 55 mmHg war. Bei Patienten mit COPD ist die LTOT bereits bei Werten zwischen 56-60 mmHg indiziert. [Magnussen et al, 2001]

Von den 18 Probanden, die das Training beendeten, waren vor Aufnahme des Trainings 9 auf eine Therapie mittels LTOT angewiesen, 9 Probanden nutzten keine LTOT. Nach Beendigung des Trainings waren nur noch 5 Probanden ohne Langzeitsauerstoff, während 13 die Dauerapplikation von supplementärem Sauerstoff nutzten. Des Weiteren war zu beobachten, dass der mittlere Mehrbedarf an Sauerstoff bei den Probanden, die das Training beendeten, bei 0,83 Litern lag. Dabei ist zu beachten, dass es bei 9 Probanden zu einem zusätzlichen Sauerstoffbedarf um bis zu drei Liter kam, während lediglich zwei Probanden ihren Bedarf reduzieren konnten und diese Reduktion auch jeweils nur ein Liter betrug. Ein Vergleich der beiden Probandengruppen miteinander ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Es ließe sich schlussfolgern, dass das Vibrationstraining unabhängig von der Trainingsfrequenz eine Belastung des respiratorischen Systems darstellt und mit einem vermehrten Sauerstoffbedarf des Körpers einhergeht, der alleine durch die Verbesserung der muskulären Atempumpe nicht kompensiert werden kann und somit eine externe Sauerstoffapplikation notwendig macht.

Die dargestellte mittlere Erhöhung des pO₂ um 7,48 mmHg im Verlauf des Trainings impliziert die Vermutung, dass diese Erhöhung der intensivierten LTOT geschuldet ist. Eine statistische Betrachtung ergab jedoch keine Korrelation zwischen diesen beiden Parametern, so dass die Erhöhung des Sauerstoffpartialdruckes im Verlauf des Vibrationstrainings mit einer anderen Ursache in Verbindung gebracht werden kann. Inwieweit die mittlere Erhöhung des

Sauerstoffpartialdruckes durch eine Verbesserung der muskulären Atempumpe im Rahmen des Vibrationstrainings zustande kommt, kann an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden, hierzu müsste in einem zukünftigen Forschungsprojekt eine gezielte Untersuchung der Atemmuskelkraft erfolgen.

4.2.5 Schweregradeinteilungen

Die Betrachtung der Schweregradeinteilungen BODE-Index und MMRC zeigte, wie im Ergebnisteil dargestellt, unabhängig von der Trainingsfrequenz eine Abnahme des BODE-Scores bei 5 Probanden sowie eine Zunahme des Scores bei einem Probanden. Diese Beobachtung lässt es möglich erscheinen, dass ein Vibrationstraining unabhängig von der dargebotenen Trainingsfrequenz über eine Verminderung des BODE-Scores zu einer Senkung der COPD-bedingten Mortalität führt.

In der Kontrollgruppe war zu beobachten, dass sich im Verlauf des Trainings die Werte des MMRC, also die subjektiv empfundene Luftnot, stark verbesserten. Da der MMRC als eine von 4 Dimensionen entscheidenden Anteil an der Ermittlung des BODE-Scores trägt, ist die Verbesserung des BODE-Scores in der Kontrollgruppe größtenteils auf die Verbesserung der subjektiv empfundenen Luftnot zurückzuführen. Diese Beobachtung impliziert, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei 10 Hz mit einer Verbesserung des subjektiven Krankheitsempfindens des Patienten einhergeht. Die Subjektivität dieses Ergebnisses verhindert eine Objektivierbarkeit und steht im Gegensatz zu der Beobachtung, dass die Kontrollgruppe im Symptomscore als Teil des St. George Respiratory Questionnaire eine deutliche Verschlechterung der Symptomatik aufwies. Aufgrund größerer Dimensionalität ist dem SGRQ, der an anderer Stelle diskutiert wird, eine wesentlich größere Bedeutung beizumessen als dem MMRC. Unterschiede in den Wertebereichen dieser subjektiven Krankheitsbewertung sind wahrscheinlich ebenfalls einer geringen Fallzahl geschuldet.

In der Trainingsgruppe zeigten sich keine Veränderungen im Bereich des MMRC, so dass die Verbesserung des BODE-Scores in der Trainingsgruppe aufgrund

einer positiven Werteentwicklung im Bereich des 6MWD, der FEV1 oder des BMI zustande gekommen sein muss. Da die FEV1 und der BMI jedoch im Verlauf des Vibrationstrainings keine punktrelevanten Veränderungen erkennen ließen, muss die Verbesserung des BODE-Scores in der Trainingsgruppe auf eine Verbesserung der 6MWD zurückzuführen sein. Diese Beobachtung wird sowohl durch die starke Korrelation genannter Parameter als auch durch die Ergebnisse der 6MWD gestützt, nach denen sich die Trainingsgruppe innerhalb der ersten 4 Wochen signifikant verbesserte.

Es konnte gezeigt werden, dass ein Vibrationstraining bei 26 Hz über eine Verbesserung der körperlichen Belastbarkeit zu einer Verbesserung des BODE-Scores führt. Da die BODE-Scorebereiche bzw. Quartilen 0-2, 3-4, 5-6 und 7-10 mit der COPD-bedingten Mortalität korrelierten, erlaubt die getätigte Beobachtung folgende Aussage: Ein Vibrationstraining bei 26 Hz führt zu einer Verbesserung der körperlichen Belastbarkeit und des BODE-Scores und könnte damit möglicherweise zu einer Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit bei Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung beitragen.

4.2.6 6-Minuten-Gehstrecke und Borg-Skala

Die Ergebnisse der 6MWD zeigen gruppenspezifische Unterschiede bei der Betrachtung der beiden Probandengruppen. Anhand der Werteentwicklung konnte gezeigt werden, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei 26 Hz zu einer signifikanten Verbesserung der 6MWD innerhalb der ersten 4 Trainingswochen führt, während das Training bei 10 Hz im vorliegenden Probandenkollektiv keine Gehstreckenverbesserung erkennen ließ.

Ähnliche Ergebnisse liefert eine Studie aus dem Jahre 2011. Für dieses Forschungsvorhaben wurden 38 an COPD erkrankte Personen mit einem Krankheitsstadium GOLD III-IV rekrutiert und einer 3-wöchigen stationären Rehabilitation unterzogen. Die Probanden wurden auf zwei Gruppen randomisiert, die beide ein standardisiertes Rehabilitationsprogramm absolvierten. Der Gruppenunterschied bestand in den Kniebeugen, die 3-mal wöchentlich über einen

Zeitraum von 3 x 3 Minuten durchgeführt wurden. Während die Kontrollgruppe die Kniebeugen auf normalem Hallenboden durchführte, absolvierte die Trainingsgruppe diese Übung auf einer Vibrationsplattform, die mit einer Frequenz von bis zu 26 Hz vibrierte. Nach Beendigung des Rehabilitationsprogrammes zeigten sich statistisch signifikante Gruppenunterschiede im Bezug auf die 6-Minuten-Gehstrecke mit einem deutlich höheren Streckenzugewinn in der Vibrationsgruppe. [Glöckl et al, 2011]

Eine weitere Studie aus dem Jahr 2013 konnte anhand eines männlichen Patientenkollektivs mit fortgeschrittener COPD ähnliche Ergebnisse aufzeigen. Bei dieser randomisierten und kontrollierten Studie konnte gezeigt werden, dass ein 6-wöchiges Vibrationstraining verglichen mit einer Probandengruppe ohne Intervention zu einer signifikanten Verbesserung der 6MWD führt. Dabei entsprach der Beobachtungszeitraum von 6 Wochen näherungsweise dem Zeitintervall, das innerhalb der vorliegenden Studie signifikante Ergebnisse lieferte. [Pleguezuelos et al, 2013]

Die angeführten Daten zeigen, dass ein Vibrationstraining bei Patienten mit schwerer COPD abhängig von der Trainingsfrequenz zu einer klinisch und statistisch relevanten Leistungssteigerung führen kann und damit ein sicheres und gut tolerierbares Trainingskonzept darstellt. Die mittlere Gehstreckenverbesserung der Trainingsgruppe lag mit 28,2 Metern knapp unter der von Puhan et al. als klinisch relevant definierten Verbesserung von 35 Metern. [Puhan et al, 2008]

Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens implizieren, dass ein Vibrationstraining bei 26 Hz zu einer Leistungssteigerung innerhalb der ersten 4 Wochen führt und es anschließend durch ein Training gleicher Intensität zu einer Stabilisierung des Leistungsniveaus ohne weitere erkennbare Leistungssteigerung kommt. Eine Leistungssteigerung durch ein Vibrationstraining bei niedrigen Frequenzen konnte weder in der vorliegenden Arbeit noch bei der Recherche der aktuellen Literatur kenntlich gemacht werden.

Eine weitere interessante Beobachtung ergab die Aufzeichnung der Borg-Skala unmittelbar nach Durchführung der 6MWD. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit aller Probanden (10 von 18; 55,5%) unabhängig von der Trainingsgruppe

die Durchführung der 6MWD nach Absolvierung der 36 Trainingseinheiten weniger belastend empfand als vor Trainingsbeginn. Es ergab sich durch das Training somit eine subjektiv niedriger empfundene Beanspruchungsintensität bei gleichbleibender oder gesteigerter objektiver Belastung. Diese Beobachtung kann eine Leistungssteigerung durch ein Ganzkörpervibrationstraining nicht statistisch beweisen, gibt aber einen deutlichen Hinweis auf einen Trainingseffekt des Ganzkörpervibrationstrainings unabhängig von der applizierten Frequenz.

4.2.7 Sprungplattenanalyse

4.2.7.1 Single-2-Leg-Jump

Die Analyse der Sprungplattenergebnisse liefert signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen.

Betrachtet man die Ergebnisse der relativen maximalen Leistung (P_{max}/KG) des S2LJ, so zeigt sich bei einer oberflächlichen Betrachtung ein Trend, der eine stetige Leistungssteigerung in der Trainingsgruppe und eine Leistungsstagnation in der Kontrollgruppe erkennen lässt. Bei der Betrachtung der gesamten Trainingsdauer fällt es aufgrund bekannter Problematik abermals schwer, einen statistisch signifikanten Gruppenunterschied darzulegen.

Anders verhält es sich bei der Betrachtung der ersten 4 Trainingswochen in Bezug auf die relative maximale Leistung. Es wird deutlich, dass ein 4-wöchiges Vibrationstraining bei 26 Hz zu einer statistisch signifikanten Steigerung der relativen maximalen Leistung führt, die einen statistisch signifikanten Unterschied zu einem Vibrationstraining bei 10 Hz aufweist.

Die Werte der maximalen Leistung P_{max} liefern ein ähnliches Ergebnis. Es lässt sich auch bei diesem Leistungsparameter erkennen, dass die Trainingsgruppe die maximale Kraft im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich verbessern konnte. Wie bei der relativen maximalen Leistung entfällt der Großteil der Leistungssteigerung mit Erreichen eines Signifikanzniveaus auf die ersten 4 Trainingswochen. Ein statistisch signifikanter Gruppenunterschied konnte hier jedoch nicht gefunden werden.

Es lässt sich konstatieren, dass ein hochfrequentes Vibrationstraining einen leistungssteigernden Effekt bei Patienten mit fortgeschrittener COPD aufweist, wohingegen ein Training bei niederen Frequenzen geringe unspezifische Auswirkungen auf das Leistungsniveau der Probanden zeigt. Diese Aussage beschränkt sich auf die ersten 4 Wochen des Vibrationstrainings, da nur in diesem Zeitraum statistische Signifikanz nachgewiesen werden konnte und sich das Leistungsniveau nachfolgend nivellierte.

4.2.7.2 Chair-Rising-Test

Die Ergebnisse des Chair-Rising-Testes als Leistungstest am Beispiel einer grundlegenden Alltagsaufgabe zeigten Wertentwicklungen, die teilweise mit den bereits diskutierten Ergebnissen der Sprungplattenanalyse übereinstimmen, teilweise jedoch grundlegende Unterschiede aufweisen.

In mehreren Studien an anderen Patientenkollektiven konnte in den letzten Jahren gezeigt werden, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei unterschiedlichen Frequenzen zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit - gemessen an den Parametern des Chair-Rising-Testes - führen kann. [Glöckl et al, 2011] [Rietschel et al, 2008]

In der Arbeit von Glöckl et al. kam es zu einer signifikanten Verbesserung der zeitlichen Dauer des Aufstehvorgangs sowohl in der Probandengruppe, die das Vibrationstraining vollführte, als auch in der Kontrollgruppe mit einem statistisch signifikanten Gruppenunterschied zugunsten der Vibrationstrainingsgruppe. [Glöckl et al, 2011]

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese Beobachtungen weitestgehend. Hier konnte gezeigt werden, dass die Probandengruppen unabhängig von der Trainingsfrequenz die pro Aufstehvorgang benötigte Zeit statistisch signifikant verbesserten, jedoch ohne signifikanten Gruppenunterschied. Bezüglich der Leistung zeigte sich eine statistisch signifikante Verbesserung der maximalen Leistung P_{max} und der relativen maximalen Leistung $P_{max\ rel.}$ in beiden Probandengruppen ohne signifikanten Gruppenunterschied. Im Gegensatz

zu den anderen klinischen Leistungstests fand beim CRT der Großteil der Leistungssteigerung nicht in den ersten 4 Wochen statt, sondern im Verlauf der kommenden 8 Wochen. Weiterhin zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied im Leistungsausgangsniveau der beiden Probandengruppen, der belegt, dass die Trainingsgruppe das Training von einem höheren Ausgangsniveau der maximalen Leistung begann. Eine mögliche Erklärung für den Unterschied des Leistungsausgangsniveaus ist der statistisch signifikante Unterschied der Geschlechterzuteilung zwischen Trainings- und Kontrollgruppe. Hardy et al. konnten bei Männern eine statistisch signifikant höhere Kraft der Beinextensoren nachweisen, was regelhaft mit einer höheren maximalen Leistung während des Aufstehvorgangs einhergeht. [Hardy et al, 2010] Das höhere Leistungsausgangsniveau der Trainingsgruppe könnte somit der männlichen Dominanz in dieser Probandengruppe geschuldet sein.

Die Ergebnisse des CRT zeigen, dass ein 12-wöchiges Ganzkörpervibrationstraining, unabhängig von der gewählten Trainingsfrequenz, zu einer signifikanten Verbesserung des CRT bezogen auf maximale Leistung und Geschwindigkeit des Aufstehvorgangs führt.

Es konnte in der Vergangenheit in mehreren Studien nachgewiesen werden, dass bereits moderate Trainingsprogramme bei älteren Patienten zu einer signifikanten Verbesserung der Parameter des Chair-Rising-Tests führen. [Kalapotharakos et al, 2005] [Seynnes et al, 2004] Inwieweit die dargestellten Verbesserungen des CRT durch das Vibrationstraining bedingt sind oder im Rahmen einer vermehrten Mobilisierung durch Teilnahme an dem Forschungsvorhaben und den damit verbundenen klinischen Belastungstests zu interpretieren sind, lässt sich nicht abschließend klären und bleibt Gegenstand der aktuellen Diskussion.

Die Sprungplattenanalyse lässt sich folgendermaßen interpretieren: Ein Vibrationstraining bei 26 Hz führt zu einer statistisch signifikanten Verbesserung der Leistungsfähigkeit in fast allen betrachteten Wertebereichen, wobei es teilweise einer Anpassung des Beobachtungszeitraumes bedarf.

Das Vibrationstraining bei 10 Hz zeigte widersprüchliche Ergebnisse mit einer Stagnation des Leistungsniveaus im S2LJ und einer signifikanten Verbesserung des Leistungsniveaus im CRT und erlaubt keine eindeutigen Aussagen über Wirksamkeit und Therapieerfolg des niederfrequenten Vibrationstrainings.

4.2.8 St. George Respiratory Questionnaire

Der SGRQ als Selbsteinschätzungsinventar der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zeigte nach Abschluss der 36 Trainingseinheiten in der Trainingsgruppe eine signifikante Verbesserung des Gesamtpunktwertes, der mit einer Verbesserung der Lebensqualität gleichzusetzen ist. Die Verbesserung der Lebensqualität der Trainingsgruppe bestand in allen Kategorien und lässt eine Ursache-Wirkungs-Beziehung erkennen. Es kam somit durch ein Vibrationstraining bei 26 Hz zu einer Verbesserung der Symptome, der Aktivität und der Auswirkungen der Erkrankung, wobei eine signifikante Verbesserung nur beim Gesamtscore nachgewiesen werden konnte.

In der Kontrollgruppe zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse. Es kam zu einer Verbesserung des Aktivitätsscores sowie des Gesamtscores, wohingegen der Symptomscore und der Auswirkungsscore eine Verschlechterung zeigten. Diese Veränderungen innerhalb der Kontrollgruppe waren nicht signifikant und lassen keine klare Ursache-Wirkungs-Beziehung erkennen. Eine mögliche Erklärung für die Verbesserung des Aktivitätsscores innerhalb der Kontrollgruppe ist die Teilnahme an dem Forschungsvorhaben. Es erscheint möglich, dass unabhängig von dem Vibrationstraining bzw. dem Inhalt der Rehabilitation die vermehrte Aktivität durch 3-mal wöchentliches Training sowie Belastungstests zu einer Verbesserung des Aktivitätsscores führt.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Probandengruppen bestand nicht.

In der Vergangenheit wurde bereits dargelegt, dass bei Patientenkollektiven mit anderen Erkrankungen ein Vibrationstraining in Kombination mit einer physiotherapeutischen Übungsbehandlung zu einer signifikanten Verbesserung

der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (SF-36) führt. [Bruyere et al, 2005] [Sañudo et al, 2010]

Die vorliegende Studie bestätigt diese Beobachtungen, wobei gezeigt werden konnte, dass ein Ganzkörpervibrationstraining bei 26 Hz auch ohne physiotherapeutische Zusatzübungen zu einer Verbesserung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Patienten im fortgeschrittenen Stadium einer chronischen Erkrankung führen kann.

4.3 Abschließende Betrachtung

Insgesamt lässt sich feststellen, dass ein Ganzkörpervibrationstraining von Patienten im fortgeschrittenen Stadium einer COPD unabhängig von der Trainingsfrequenz gut toleriert wird. Im Verlauf der Studie kam es zu einem Ausschluss von 21,7 % der Probanden durch das Auftreten eines der Abbruchkriterien. Wichtigstes Abbruchkriterium stellte die akute Exazerbation der Grundkrankheit dar, die ein weiteres Training in vielen Fällen verhinderte und nach 2-wöchiger Trainingspause zum Ausschluss der Probanden führte. Die signifikanten krankheitsassoziierten Komorbiditäten bei dem vorliegenden Patientenkollektiv führen zu einer höheren Auftretenswahrscheinlichkeit eines der Abbruchkriterien, als es bei einem gesunden Probandenkollektiv oder zufällig ausgewählten Freiwilligen der Fall wäre. Das Auftreten von Abbruchkriterien konnte in der vorliegenden Studie jedoch fast ausschließlich auf die Grunderkrankung zurückgeführt werden und nicht mit der Intervention eines Vibrationstrainings in Verbindung gebracht werden.

Diese Tatsache spiegelt eine Limitation der vorliegenden Studie wider. Die Durchführung eines 12-wöchigen Trainings erhöhte durch eine lange Beobachtungsdauer die Auftretenswahrscheinlichkeit einer Krankheitsexazerbation, die im vorliegenden Fall mit einem Studienausschluss gleichzusetzen war. Es gelang daher nicht, mit einer ausreichenden Zahl von Probanden das Training zu beenden, um eine Datenlage zu erreichen, die

verlässliche Aussagen über Wirksamkeit und Behandlungserfolg des Vibrationstrainings zulässt.

Eine signifikante Verbesserung von Leistungsparametern zeigte sich lediglich bei der Betrachtung der ersten 4 Wochen des Vibrationstrainings.

Weitere Punkte, die zu einer begrenzten Aussagekraft der erhobenen Daten führen, sind die geringe Fallzahl und eine hohe Standardabweichung.

Die Ursachen für die geringe Fallzahl sind wie in Abschnitt 4.2.1 erläutert das Auftreten von Abbruchkriterien sowie Schwierigkeiten in der Probandenrekrutierung.

Die Höhe der Standardabweichung ergibt sich aus der Inhomogenität des Leistungsausgangsniveaus der Probanden und der damit verbundenen Variabilität der Messwerte.

Es bleibt festzustellen, dass ein Vibrationstraining bei 26 Hz zu einer Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und einer damit verbundenen Lebensqualitätserhöhung führen kann. Das Vibrationstraining bei 10 Hz zeigte teilweise divergente Werteentwicklungen und lässt keine Aussage über Wirksamkeit und Einsatzmöglichkeiten zu.

Die einfache Handhabung, der geringe zeitliche Aufwand und die geringe Belastung des kardiorespiratorischen Systems machen das Vibrationstraining bei 26 Hz zu einer Alternative im Bereich der Rehabilitation obstruktiver Lungenerkrankungen. Weitere Forschung ist nötig, um die Wirksamkeit dieser Trainingsmethode mit statistischer Signifikanz zu belegen und ein sinnvolles Trainingskonzept zu etablieren.

5 Zusammenfassung

5.1 Deutsch

Hintergrund und Ziele:

In der vorliegenden Arbeit wurden die Effekte eines Ganzkörpervibrationstrainings mit unterschiedlichen Frequenzen auf die Lebensqualität und verschiedene Kenngrößen der körperlichen Belastbarkeit bei Patienten mit fortgeschrittener COPD untersucht.

Methodik:

Insgesamt nahmen 24 Probanden mit fortgeschrittener COPD im Krankheitsstadium GOLD III und IV an der Studie teil. Die Studie war als randomisiert, kontrolliert, doppelblind, prospektiv und klinisch-experimentell angelegt. In der Trainingsgruppe (n=14) betrug das Durchschnittsalter $59,6 \pm 7,6$ Jahre, in der Kontrollgruppe (n=9) $59 \pm 6,6$ Jahre. Beide Probandengruppen vollführten ein 12-wöchiges Trainingsprogramm mit drei Trainingseinheiten pro Woche, also insgesamt 36 Trainingseinheiten auf einem Galileo Vibrationstrainer der Firma Novotec Medical GmbH Pforzheim/Germany. Gruppenunterschied war die Trainingsfrequenz. Die Trainingsgruppe trainierte bei einer Frequenz von 26 Hz, während die Kontrollgruppe bei 10 Hz trainierte. Vor Trainingsbeginn, nach 12 bzw. 24 Wochen sowie nach Beendigung des Trainings erfolgte die Aufzeichnung diverser Testparameter sowie die Beurteilung der subjektiven Lebensqualität anhand von Fragebögen. Aufgezeichnet wurde im Einzelnen: 6-Minuten-Gehstrecke mit Borg-Skala, Lungenfunktion, Sprungplattenanalyse/Mechanography, BODE-Index und Blutgasanalyse.

Ergebnisse:

Die Studienpopulation zeigte einen signifikanten Unterschied in der Geschlechterzuteilung der einzelnen Probandengruppen. Bezüglich Alter, Drop-

out-Rate und Gruppengröße zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede. Aufgrund von Krankheitsexazerbationen kam es zum Ausschluss von Probanden in der Trainingsgruppe (n=4) und in der Kontrollgruppe (n=1).

Es konnte ein linearer Zusammenhang zwischen der Schrittweite auf dem Vibrationstrainer und der zeitlichen Trainingsintervalldauer dargelegt werden. Damit konnte gezeigt werden, dass die Schrittweite mit der subjektiv empfundenen Belastung korreliert und dass ein Vibrationstraining sowohl bei 10 Hz als auch bei 26 Hz mit einem Trainingseffekt verbunden ist, der zu einer Steigerung der maximal tolerierbaren Belastungsintensität im Laufe des Trainings führt.

Die Lungenfunktionsdiagnostik und die Sauerstoff-Langzeittherapie ergaben keine richtungsweisenden Ergebnisse.

Es konnte bei 23,5% der Probanden unabhängig von der Probandengruppe eine Verbesserung des BODE-Scores nachgewiesen werden, die mit einer Erniedrigung der COPD-bedingten Mortalität verbunden ist.

Bezüglich der Leistungstests konnte eine signifikante Gehstreckenverbesserung der Trainingsgruppe innerhalb der ersten 4 Wochen nachgewiesen werden. Die Sprungplattenanalyse zeigte ebenfalls eine statistisch signifikante Verbesserung der relativen maximalen Leistung der Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe innerhalb der ersten 4 Wochen. Es konnte somit ein leistungssteigernder Effekt des Vibrationstrainings bei 26 Hz innerhalb der ersten 4 Trainingswochen dargelegt werden.

Der Chair-Rising-Test ergab unabhängig von der Probandengruppe eine signifikante Verbesserung der Leistung sowie der Zeit pro Aufstehvorgang und damit eine Verbesserung der Schnellkraft.

Der gesundheitsspezifische Fragebogen (St. George Respiratory Questionnaire) zeigte eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität der Trainingsgruppe.

Schlussfolgerung:

Ein Ganzkörpervibrationstraining bei 26Hz ist bei Patienten im fortgeschrittenen Stadium einer COPD möglich und sicher. Innerhalb der ersten 4 Wochen führt es zu einer Leistungssteigerung sowie zu einer Verbesserung der

gesundheitsspezifischen Lebensqualität. Vor diesem Hintergrund erscheint ein hochfrequentes Vibrationstraining bei Patienten mit COPD als sinnvolle Ergänzung zu der medikamentösen Therapie und der herkömmlichen physiotherapeutischen Rehabilitation.

Durch zu geringe Fallzahlen und häufige Krankheitsexazerbationen erlaubt die vorliegende Studie keine Aussagen über Wirkung und Therapieerfolg des Vibrationstrainings nach zwei und drei Monaten.

5.2 Englisch

Background and objectives:

The purpose of this study was to examine the effects of whole body vibration with different frequencies in patients with severe COPD monitoring quality of life and different parameters of exercise capacity.

Methods:

24 adults with COPD in GOLD stage III and IV were recruited to the trial. The study design was randomized, controlled, double-blind and prospective. In the exercise group (n = 14), the average age was $59,6 \pm 7,6$ years and in the control group (n = 9) $59 \pm 6,6$ years. Both groups performed a 12-week training program with three workouts per week, for a total of 36 training sessions on a Galileo Vibration Trainer of Novotec Medical GmbH Pforzheim / Germany. Group difference was the training frequency.

The training group trained at a frequency of 26 Hz, while the control group trained at 10 Hz. Before training, after 12, 24 weeks and after completing training the assessment of exercise capacity and subjective quality of life was made.

The following parameters were recorded: 6-minute-walking-distance including Borg scale, lung function, jumping mechanography, BODE-index and blood gas analysis.

Results:

The study population showed a significant difference in the gender allocation of the

individual groups. Regarding age, drop-out rate and size of the group there were no significant group differences. Due to acute exacerbations patients in the exercise group (n = 4) and in the control group (n = 1) had to be excluded.

There was a linear relationship between the step size on the vibration plate and the temporal duration of training. It was thus demonstrated that the step size correlated with the subjective burden. This shows, that a vibration training is connected at both 10 Hz and 26 Hz with a training effect, which leads to an increase in the maximum tolerable intensity level during the workout.

The results of pulmonary function testing and the need for long-term oxygen therapy showed no trend-setting results. In 23.5% of the patients an improvement of BODE scores could be shown, regardless of the subject group.

Regarding the performance tests a significant improvement of 6-minute-walking-distance was detected in the exercise group within the first 4 weeks. The jumping mechanography also showed a significant improvement in the relative maximum power of the exercise group compared to the control group within the first 4 weeks. These results showed that whole body vibration at 26 Hz improves exercise capacity within the first 4 weeks of training. The Chair Rising Test showed a significant improvement in performance and Chair rising time regardless of the subject group.

The health-related questionnaire (St. George Respiratory Questionnaire) showed a significant improvement of life quality in the exercise group.

Conclusion:

A whole body vibration training at 26Hz is possible and safe in patients in the late stages of COPD. Within the first 4 weeks, an improvement of exercise capacity and health-related quality of life could be shown. Therefore, in patients with COPD a high-frequency vibration training appears as a useful complement to drug therapy and conventional physiotherapy rehabilitation. Due to small sample sizes and frequent exacerbations of chronic disease the present study does not allow conclusions about effects and treatment success of vibration training after two and three months.

Literaturverzeichnis

Abercromby AF, Amonette WE, Layne CS, McFarlin BK, Hinman MR, Paloski WH (2007)

Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training
Med Sci Sports Exerc. 2007 Oct;39(10):1794-800

Albert Richard K, Spiro Stephen G, Jett James R (2008)

Clinical Respiratory Medicine. 3. Auflage.
Philadelphia: Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc.

American Thoracic Society (1962)

Chronic bronchitis, asthma and pulmonary emphysema: a statement by the
Committee on Diagnostic Standards for Nontuberculous Respiratory Diseases.
Am Rev. Respir. Dis. 1962; 85: 762-768

Anthonisen NR, Connett JE, Kiley JP, Altose MD, Bailey WC, Buist AS, Conway
WA Jr, Enright PL, Kanner RE, O'Hara P, et al. (1994)

Effects of smoking intervention and the use of an inhaled anticholinergic
bronchodilator on the rate of decline of FEV1. The Lung Health Study.
JAMA 1994; 272; 1497-1505

Barnes PJ, SD Shapiro, RA Pauwels (2003)

Chronic obstructive pulmonary disease: molecular and cellular mechanisms
Eur Respir J 2003;22:672-88

Barnes PJ, Celli BR (2009)

Systemic manifestations and comorbidities of COPD.
Eur Respir J. 2009 May;33(5):1165-85.

Berschin G, Sommer HM (2004)

Vibrationskrafttraining und Gelenkstabilität: EMG-Untersuchungen zur Wirkung von
Vibrationsfrequenz und Körperhaltung auf Muskelaktivierung und -koaktivierung.
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2004, 55(6):152–156

Biskobing DM (2002)
COPD and Osteoporosis
CHEST, 2002; 121(2): 609-620
Blottner D, Salanova M, Püttmann B, Schiffli G, Felsenberg D, Buehring B, Rittweger J (2006)
Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest
Eur J Appl Physiol. 2006 Jun;97(3):261-71. Epub 2006 Mar 28.

Boemke W, Krebs MO, Rossaint R (2004)
Blutgasanalyse
Der Anästhesist, 2004, Volume 53, Number 5, 471-494

Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S (2007)
Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial.
Gait Posture. 2007 Jul;26(2):309-16. Epub 2006 Oct 30.

Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, Reginster JY (2005)
Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents.
Arch Phys Med Rehabil. 2005 Feb;86(2):303-7.

Buist AS, McBurnie MA, Vollmer WM, Gillespie S, Burney P, Mannino DM, Menezes AM, Sullivan SD, Lee TA, Weiss KB, Jensen RL, Marks GB, Gulsvik A, Nizankowska-Mogilnicka E; BOLD Collaborative Research Group. (2007)
International variation in the prevalence of COPD (the BOLD Study): a population-based prevalence study.
Lancet. 2007 Sep 1;370(9589):741-50

Bullinger M, Ravens-Sieberer U, Siegrist J, (2000)
Gesundheitsbezogene Lebensqualität in der Medizin – eine Einführung.
In: Bullinger M, Siegrist J, Ravens-Sieberer U
Lebensqualitätsforschung aus medizinpsychologischer und -soziologischer Perspektive.
Hogrefe, Göttingen 2000.

Burge S, Wedzicha JA (2003)
COPD exacerbations: definitions and classifications
Eur Respir J 2003; 41: 46-53

Burkhardt A (2006)
Vibrationstraining in der Physiotherapie – Wippen mit Wirkung
Physiopraxis 09/06, s. 22-25, 2006

Cardinale M, Lim J (2003)
Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body-vibrations
of different frequencies
J Strength Cond Res 2003; 17; 621-624

Celli BR, Cote CG, Marin JM, Casanova C, Montes de Oca M, Mendez RA, Pinto
Plata V, Cabral HJ (2004)
The body-mass index, airflow obstruction, dyspnea, and exercise capacity index in
chronic obstructive pulmonary disease.
N Engl J Med. 2004 Mar 4;350(10):1005-12.

Celli BR, Pauwels R, Snider GL (2005)
Standards for the Diagnosis and Management of Patients with COPD
Zugriff am 26.09.2011 unter
<http://www.thoracic.org/clinical/copd-guidelines/resources/copddoc.pdf>

Cochrane DJ, Loram ID, Stannard SR, Rittweger J (2009)
Changes in joint angle, muscle-tendon complex length, muscle contractile tissue
displacement and modulation of EMG activity during acute whole-body vibration.
Muscle Nerve 2009 40 (3), 420-429

Crevenna R, Fialka-Moser V, Rödler S, Keilani M, Zöch C, Nuhr M, Quittan M,
Wolzt M (2003)
Safety of Whole-Body Vibration Exercise for Heart Transplant Recipients
Phys Rehab Kur Med, 2003; 13: 286-290

Criée CP, Berdel D, Heise D, Jörres RA, Kardos P, Köhler D, Leupold W,
Magnussen H, Marek W, Merget R, Mitfessel H, Rasche K, Rolke M, Smith HJ,
Sorichter S, Worth H (2009)
Empfehlungen der deutschen Atemwegsliga und der deutschen Gesellschaft für
Pneumologie und Beatmungsmedizin – Empfehlungen zur
Ganzkörperplethysmographie
Zugriff am 09.08.2012 unter
<http://www.atemwegsliga.de/empfehlungen-positions-papiere...a-Bodyempf-web.pdf>

Delecluse C, Roelants M, Verschueren S (2003)
Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training
Med Sci Sports Exerc. 2003 Jun;35(6):1033-41.

De Gail P, Lance J, Neilson P (1966)
Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man
Journal of neurology, neurosurgery and psychiatry 1966, 29: 1-11

De Marées H (2002)
Sportphysiologie
9. Auflage
Sport und Buch Strauss, Köln 2002

Deutsche Atemwegsliga (2007)
Auswirkungen der COPD auf körperliche Belastbarkeit, Lebensqualität und Psyche
Zugegriffen am 27.06.2014 unter
<http://www.atemwegsliga.de/copd.html>

Egger C, Monnier S (2006)
Soforteffekte von Vibrationstraining und Kraft-Ausdauer-Training auf Vitalparameter und den Blutglukosespiegel
Physioscience 2(2006), H. 4, S. 157-163

Felsenberg D (2004)
Ergebnisse der Berliner Bed-Rest-Studie, „Knochen & Muskel – Neue Welten“
18. Nov. 2004, ZMK, Charite Berlin
Zugegriffen am 19.07.2012 unter
<http://www.galileo-training.com/at-deutsch/literaturdownload.html?f=gal-245.pdf>

Furness T, Joseph C, Naughton G, Welsh L, Lorenzen C (2014)
Benefits of whole-body vibration to people with COPD: a community-based efficacy trial
BMC Pulmonary Medicine 2014 Mar.8;14:38

Geldmacher H, Biller H, Herbst A, Urbanski K, Allison M, Buist AS, Hohlfeld JM, Welte T (2008)
The prevalence of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Germany. Results of the BOLD study
Deutsche Medizinische Wochenschrift 2008 Dec;133(50):2609-14

Gillisen A (2003)
Pathophysiologie in Gillisen A., Die chronisch-obstruktive Lungenerkrankung, 2. Auflage
Uni-Med Verlag, Bremen, 56-82

Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease.
Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease.
Updated 2015
Zugegriffen am 30.09.2015 unter
http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLD_Report_2015_Sept2.pdf

Glöckl R, Bäuerle S, Heinzelmänn I, Kenn K (2011)
Effekte eines Vibrationstrainings im Rahmen einer multimodalen pneumologischen Rehabilitation bei Patienten mit schwerer COPD (GOLD III/IV)
Pneumologie 2011; 65-V169

Glöckl R, Heinzelmänn I, Bäuerle S, Damm E, Schwedhelm AL, Diril M, Buhrow D, Jerrentrup A, Kenn K (2013)
Effekte eines Vibrationstrainings auf die Körperzusammensetzung bei Patienten mit schwerer COPD
Pneumologie 2013; 67-P379

Hagbarth KE, Eklund G (1966)
Tonic vibration reflex (TVR) in spasticity.
Brain Research 2 1966, 201-203

Hajiro T, Nishimura K, Tsukino M, Ikeda A, Koyama H, Izumi T (1998)
Analysis of clinical methods used to evaluate dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease.
American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 1998 Oct;158(4):1185-9.

Halbert RJ, Natoli JL, Gano A, Badamgarav E, Buist AS, Mannino DM (2006)
Global burden of COPD: systematic review and meta-analysis.
European Respiratory Journal 2006 Sep;28(3):523-32

Hardy R, Cooper C, Kuh D (2010)
Is chair rise performance a useful measure of leg power
Aging Clin Exp Res. 2010; 22: 412-418

Hosenpud JD, Bennett LE, Keck BM, Edwards EB, Novick RJ (1998)
Effect of diagnosis on survival benefit of lung transplantation for end-stage lung disease
Lancet 1998, Jan 3; 351 (9095): 24-7

Hörnig S, Döhner W, Witt C, Anker S, John M (2005)
Anämie bei Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung: Frequenz, klinische Bedeutung und metabolische Alteration.
Pneumologie 2005; 59-P396

Hüter-Becker A, Dölken M (2011)
Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre
Thieme Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 2011

Issurin VB, Tenenbaum G (1999)
Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes
J Sports Science, 1999 17(3): 177-182

Issurin VB (2005)
Vibrations and their applications in sport – A review
Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 2005, Sep; 45 (3), 324-336

Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M (2005)
Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate.
Aging Clin Exp Res. 2005 Apr;17(2):157-63

John M, Hoerning S, Doehner W, Okonko D, Witt C, Anker S (2005)
Anemia and Inflammation in COPD
CHEST, 2005; 127(3): 852-829

Jones PW, Quirk FH, Baveystock CM (1991)
The St George's Respiratory Questionnaire.
Respir Med. 1991 Sep;85 Suppl B:25-31; discussion 33-7

Jones PW, Forde Y (2009)
St. Georges Respiratory Questionnaire Manual, Version 2.3
Zugegriffen am 27.08.2012 unter
http://www.healthstatus.sgul.ac.uk/SGRQ_download/SGRQ%20Manual%20June%202009.pdf

Jordan M, Norris S, Smith D, Herzog W (2005)
Vibration Training: An Overview of the Area, Training Consequences, and Future Considerations.
Journal of Strength and Conditioning Research, 2005 May; 19(2):459–466

Kaeding TS (2009)
Sarkopenie und Vibrationstraining - eine Übersicht
Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie, Volume 42, Number 2 (2009), 88-92

Kalapocharakos VI, Michalopoulos M, Tokmakidis SP, Godolias G, Gourgoulis V (2005)
Effects of a heavy and a moderate resistance training on functional performance in older adults
Journal of Strength & Conditioning Research, 2005 , 19(3): 652-657

Kaplan RM, Sun Q, Ries AL (2015)
Quality of well-being outcomes in the National Emphysema Treatment Trial.
Chest 2015 Feb;147(2):377-87

Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J. (2007)
Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly.
Keio J Med. 2007 Mar;56(1):28-33.

Kerschan-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, Imhof H. (2001)
Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume.
Clin Physiol. 2001 May;21(3):377-82.

Leach RM, Davidson AC, Chinn S, Twort CH, Cameron IR, Bateman NT (1992)
Portable liquid oxygen and exercise ability in severe respiratory disability.
Thorax. 1992 October; 47(10): 781–789.

Luczak H (1995)
Arbeitswissenschaft
Springer DE, 1995

Magnussen H, Kirsten AM, Köhler D, Morr H, Sitter H, Worth H (2008)
Leitlinien zur Langzeitsauerstofftherapie
Pneumologie 2008; 62: 748-756

Mahler DA, Wells CK (1988)
Evaluation of clinical methods for rating dyspnea.
Chest 1988 Mar;93(3):580-6.

Marín PJ, Rhea MR (2010)
Effects of vibration training on muscle power: a meta-analysis.
J Strength Cond Res. 2010 Mar;24(3):871-8.

Marques A, Jacome C, Cruz J, Gabriel R, Brooks D, Figueiredo D (2015)
Family-based psychosocial support and education as part of pulmonary rehabilitation in COPD: a randomized controlled trial.
Chest 2015 Mar;147(3):662-72

Matthews PB (1966)
The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to wrist tendon
J Physiol 184 (1966) 450-472

Medical Research Council Working Party (1981)
Long term domiciliary oxygen therapy in chronic hypoxic cor pulmonale complicating chronic bronchitis and emphysema.
Lancet 1981; 1: 681-686

Mehran RJ, Deslauriers J (1995)
Indications for surgery and patient work-up for bullectomy.
Chest Surg Clin N Am. 1995 Nov;5(4):717-34.

Murray CJL, Lopez AD. (1996)
Evidence-based health policy lessons from the global burden of disease study.
Science 1996; 274:740-3.

Murray CJL, Lopez AD. (1996)

The global burden of disease: A comprehensive assessment of mortality and disability from diseases. Injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020.

Cambridge: Harvard University Press, 1996

Niedermeier J, Barner A, Borst M, Breuer HWM, Dorow P, Meissner E, Petermann W, Rühle KH, Schultz K, Worth H (1998)

Deutsche Gesellschaft für Pneumologie: Empfehlungen zur Anwendung der Echokardiographie in der pneumologischen Diagnostik

Pneumologie 1998; 52, 519-521

Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group. (1980)

Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxaemic chronic obstructive lung disease

Ann Intern Med 1980; 93: 391-398

Pellegrino R, G Viegi, V Brusasco, R Crapo, F Burgos, R Casaburi, A Coates, CPM van der Grinten, P Gustafsson, J Hankinson, R Jensen, DC Johnson, N MacIntyre, R McKay, MR Miller, D Navajas, OF Pedersen, J Wanger (2005)

Interpretative strategies for lung function tests

European Respiratory Journal

November 1, 2005 vol. 26 no. 5 948-968

Pleguezuelos E, Perez ME, Guirao L, Samitier B, Costea M, Ortega P, Gonzalez MV, Del Carmen VA, Ovejero L, Moreno E, Miravittles M (2013)

Effects of whole body vibration training in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease

Respirology (2013) Aug;18(6), 1028-1034

Postma DS, Bush A, van de Berge M (2015)

Risk factors and early origins of chronic obstructive pulmonary disease

Lancet. 2015; 385:899-909

Puhan MA, Mador MJ, Held U, Goldstein R, Guyatt GH, Schünemann HJ (2008)

Interpretation of treatment changes in 6-minute walk distance in patients with COPD.

Eur Respir J. 2008 Sep;32(3):637-43. Epub 2008 Jun 11

Puhan MA, Garcia-Aymerich J, Frey M, ter Riet G, Antó JM, Agustí AG, Gómez FP, Rodríguez-Roisín R, Moons KG, Kessels AG, Held U (2009)
Expansion of the prognostic assessment of patients with chronic obstructive pulmonary disease: the updated BODE index and the ADO index.
Lancet. 2009 Aug 29;374(9691):704-11.

Rahman I (2005)
The role of oxidative stress in the pathogenesis of COPD: implications for therapy.
Treat Respir Med. 2005;4(3):175-200.

Reichel G , Schürmeyer E , Bartelheimer EW (1966)
Untersuchungen über die arterielle Blutgasanalyse im Kapillarblut des hyperämisierten Ohrläppchens bei Herz- und Lungenkranken
Journal of molecular medicine, Vol. 44 (7. 1966), 386-388

Renneberg B, Hammelstein P (2006)
Gesundheitspsychologie
Spinger Medizin Verlag, Heidelberg 2006

Rietschel E, Van Koningsbruggen S, Fricke O, Semler O, Schoenau E (2008)
Whole body vibration: a new therapeutic approach to improve muscle function in cystic fibrosis?
Int J Rehabil Res. 2008 Sep; 31 (3): 253-6

Rittweger J, Beller G, Felsenberg D (2000)
Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man
Clin Physiol. 2000 Mar;20(2):134-42.

Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, Felsenberg D (2002)
Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial.
Spine (Phila Pa 1976). 2002 Sep 1;27(17):1829-34

Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D, Runge M (2004)
Reproducibility of the jumping mechanography as a test of mechanical power output in physically competent adult and elderly subjects.
J Am Geriatr Soc. 2004 Jan;52(1):128-31.

Ritzmann R, Kramer A, Gruber M, Gollhofer A, Taube W (2010)
EMG activity during whole body vibration: motion artefacts or stretch reflexes?
European journal of applied physiology, 2010; 110(1), 143-151

Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM (2004)
Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women.
J Am Geriatr Soc. 2004 Jun;52(6):901-8.

Runge, M (2004)
Prinzip der vibratorischen Muskelstimulation mit dem Galileo-System
Zugriff am 11.07.2012 unter
<http://www.galileo-training.com/de-deutsch/literaturdownload.html?f=1315.pdf>

Sañudo B, de Hoyo M, Carrasco L, McVeigh JG, Corral J, Cabeza R, Rodríguez C, Oliva A (2010)
The effect of 6-week exercise programme and whole body vibration on strength and quality of life in women with fibromyalgia: a randomised study.
Clin Exp Rheumatol. 2010 Nov-Dec;28(6 Suppl 63):S40-5. Epub 2010 Dec 22.

Schumacher J, Klaiberg A, Brähler E (2003)
Diagnostische Verfahren zu Lebensqualität und Wohlbefinden
Hogrefe, Göttingen 2003

Segen JC (2006)
Concise Dictionary of Modern Medicine, 1. Auflage
New York: McGraw-Hill Medical

Seynnes O, Fiatarone Singh MA, Hue O, Pras P, Legros P, Bernard PL (2004)
Physiological and functional responses to low-moderate versus high-intensity progressive resistance training in frail elders
J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2004: 59 (5):503-509

Sin DD, Anthonisen NR, Soriano JB, Agusti AG (2006)
Mortality in COPD: role of comorbidities
Eur Respir J 2006; 28: 1245–1257

Stocks J, Quanjer PH (1995)
Reference Values for Residual Volume, functional Residual Capacity and total Lung Capacity
Eur Respir J, 1995, 8, 492–506

Striebel HW (2008)
Anästhesie- Intensivmedizin- Notfallmedizin: Für Studium und Ausbildung
Schattauer-Verlag, Stuttgart 2008

The National Emphysema Treatment Trial Research Group (1999)
Rationale and design of The National Emphysema Treatment Trial: a prospective randomized trial of lung volume reduction surgery.
Chest. 1999 Dec;116(6):1750-61.

Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, Järvinen TL, Järvinen M, Oja P, Vuori I (2002)
Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance
Med Sci Sports Exerc. 2002 Sep;34(9):1523-8

Troosters T, R Casaburi, R Gosselink, M Decramer (2005)
Pulmonary Rehabilitation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease
American journal of respiratory and critical care medicine, Vol 172 2005
Zugriff am 04.07.2012 unter
<http://ajrccm.atsjournals.org/content/172/1/19.long>

Trulock EP, Edwards LB, Taylor DO (2005)
The registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Twenty-first Official Adult Lung and Heart-Lung Transplant Report.
J Heart Lung Transplant 2005; 24: 956-967

Van Gestel AJR, Teschler H (2010)
Physiotherapie bei chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen
Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2010

Vestbo J, Sørensen T, Lange P, Brix A, Torre P, Viskum K (1999)
Long-term effect of inhaled budesonide in mild and moderate chronic obstructive pulmonary disease: a randomised controlled trial.
Lancet. 1999 May 29;353(9167):1819-23.

Vogelmeier C, Buhl R, CP Criée, A Gillissen, P Kardos, D Köhler, H Magnussen, H Morr, D Nowak, D Pfeiffer-Kascha, W Petro, K Rabe, K Schultz, H Sitter, H Teschler, T Welte, R Wettengel, H Worth (2007)

Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch obstruktiver Bronchitis und Lungenemphysem
Zugriff am 28.09.2011 unter
<http://www.atemwegsliga.de/copd.html>

Von der Heide S, Hilgers R, Viereck V, Emons D (2003)

Einfluss mechanischer Schwingungen auf die Beckenbodenmuskulatur mittels GALILEO 2000 in Kombination mit Physiotherapie zur Behandlung der weiblicher Stressinkontinenz.

Zugriff am 31.07.2012 unter

http://www.triebel-medizintechnik.de/Stressinkontinenz_Studie.pdf

Wagner PD (2008)

Possible mechanisms underlying the development of cachexia in COPD
ERJ, March 1, 2008, vol.31 no.3, 492-501

Watz H, Magnussen H (2006)

Komorbiditäten bei COPD.

Der Internist 2006, Volume 47, Number 9, 895-900

Weineck J (2004)

Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kindes- und Jugendalters.

Spitta Verlag Erlangen, 14. Auflage, 2004

Weitzenblum E, Sautegeau A, Ehrhart M, Mammosser M, Pelletier A. (1985)

Long-term oxygen therapy can reverse the progression of pulmonary hypertension in patients with chronic obstructive pulmonary disease.

Am Rev Respir Dis. 1985 Apr;131(4):493-8.

Westhoff M, Rühle KH (2011).

"Spiroergometrie"

Pneumologie 2011 8: 85-91.

Wilkens H, Demertzis S, König J, Leitnaker CK, Schäfers HJ, Sybrecht GW (2000)
Lung volume reduction surgery versus conservative treatment in severe
emphysema.

Eur Respir J. 2000 Dec;16 (6): 1043-9

Wilkens H (2007)

Invasive Therapiekonzepte bei chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung und
Emphysem

Deutsche Medizinische Wochenschrift 2007; 132 (10): 504-507

Württemberg G, Hütter BO (2001)

Die Bedeutung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität für die Bewertung
interventioneller Maßnahmen bei Patienten mit COPD

Pneumologie 2001; 55(2): 91-99

ZuWallack R (2007)

How are you doing? Differing perspectives in the assessment of individuals with
COPD

COPD 2007 Sep;4:293-7

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mir dieses Forschungsprojekt ermöglicht und mich bei der Fertigstellung der Dissertation unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. med. G. W. Sybrecht sowie Herrn Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. R. Bals möchte ich für die Überlassung des interessanten Forschungsthemas sowie die Bereitstellung des Arbeitsplatzes danken.

Mein besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. med. Heinrike Wilkens sowie meinen Betreuern Herrn Dr. med. Ralf Kaiser und Herrn Dr. med. Christian Frantz für die hilfreiche Betreuung sowie die vielen anregenden Diskussionen. Die außerordentlich sachkundige, erfahrene und wertvolle Unterstützung, die mir zu sämtlichen Zeitpunkten des Forschungsprojektes zuteilwurde, waren die Grundpfeiler eines erfolgreichen Gelingens.

Weiterhin danke ich Frau Ewa Goral für ihre physiotherapeutische Kompetenz und die beständige Mitarbeit.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern. Sie haben mir durch großzügige Förderung eine akademische Laufbahn ermöglicht und mich mit herzlicher Kompetenz und bedingungsloser Unterstützung durch alle Lebensphasen begleitet. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.