

Masterarbeit

Welchen Einfluss hat gerätegestütztes Atemmuskeltraining im Rahmen der pulmologischen, physiotherapeutischen Rehabilitation nach COVID-19 auf die maximale inspiratorische Atemmuskelkraft und die Belastungsdyspnoe

Eine retrospektive Studie

Eingereicht von Michaela Schöfer, PT
ULG Kardiorespiratorische Physiotherapie an der
MEDUni Graz

Zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

in Kardiorespiratorischer Physiotherapie an der

Medizinischen Universität Graz

Ausgeführt im Rahmen des

Universitätslehrganges Master of Science in Kardiorespiratorischer Physiotherapie

Unter Anleitung von:

Priv. Doz. Mag. Dr. rer. nat. Bibiane Steinecker-Frohnwieser, Ludwig Boltzmann
Institut für Arthritis und Rehabilitation
Univ.-Prof. Dr. Mag. Tanja Stamm, PhD, MSc, MBA, Ludwig Boltzmann Institut für
Arthritis und Rehabilitation; Institut f. Outcome Research, Medizinische Universität
Wien

Baden, 20 September 2022

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Baden, am 20.September 2022

Michaela Schöfer, PT

Danksagung

Ich möchte mich bei meinen Betreuerinnen Priv. Doz. Mag. Dr. rer. nat. Bibiane Steinecker-Frohnwieser und Univ.-Prof. Dr. Mag. Tanja Stamm, PhD, MSc, MBA für Ihre Unterstützung bedanken.

Priv. Doz. Mag. Dr. rer. nat. Bibiane Steinecker-Frohnwieser hat mit Ihrem Einsatz wesentlich zur Erstellung dieser Forschungsarbeit beigetragen. Ich möchte mich für Ihre Motivation und Geduld bedanken, Sie stand jederzeit für Rückfragen bereit. Univ.-Prof. Dr. Mag. Tanja Stamm, PhD, MSc, MBA hat mich ermutigt, diese Aufgabe in Angriff zu nehmen.

Ein weiterer Dank gilt Prim. Dr. Roland Axmann, der mir diese Arbeit ermöglicht hat und mich während dieser Forschungsarbeit im „Mein Peterhof“ unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Danksagung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Zusammenfassung in Deutsch	IX
Abstract in English	XI
1. Einleitung.....	1
1.1 COVID-19 Infektion.....	1
1.2 Physiologie und Pathophysiologie der Atemmuskulatur und Atempumpe.....	3
1.3 Inspiratorische Atemmuskulaturkraft und Inspiratorisches Atemmuskulaturtraining.....	7
1.4 Pneumologische Rehabilitation.....	12
1.5 Rolle der Physiotherapie in der Rehabilitation.....	17
1.6 Ziele und Hypothesen.....	18
1.7 Fragestellung.....	18
2. Methoden.....	19
2.1 Studiendesign.....	19
2.2 Patientinnen- und Patientenkollektiv.....	20
2.3 Setting.....	21
2.4 Erhebungsparameter.....	22
2.5 Haupt- und Nebenzielparameter.....	22
2.6 Ein- und Ausschlusskriterien.....	23
2.6.1 Einschlusskriterien.....	23
2.6.2 Ausschlusskriterien.....	23
2.7 Assessments.....	23
2.7.1 Maximaler statischer Inspirationsdruck $P_{i_{max}}$	24
2.7.2 6 Minuten Gehstest 6MWT.....	26

2.7.3 Pulsoxymetrie.....	27
2.7.4 mMRC- Skala.....	28
2.8 Praktische Durchführung des inspiratorischen Atemmuskeltrainings...	29
2.9 Erhebung der Daten.....	31
2.9.1 Durchführung.....	32
2.9.2 Ablauf.....	32
2.10 Methodik und Auswertung.....	32
3. Ergebnisse.....	33
3.1 Deskriptive Ergebnisse.....	34
3.2 Verbesserung in der maximalen Atemmuskelkraft und der Leistungsfähigkeit	34
3.3 Korrelation der Effektgröße	35
3.4 Erfassung der Sauerstoffsättigung des Blutes und der Herzfrequenz...	36
3.5 Verbesserung des subjektiven Gefühls in Bezug auf die Atemleistung und die körperliche Leistungsfähigkeit.....	38
4. Diskussion.....	41
4.1 Stärken.....	41
4.2 Limitationen.....	42
4.3 Ergebnisse	43
4.4 Conclusio	47
5. Literaturverzeichnis.....	48
6. Anhang.....	53

Abkürzungsverzeichnis

ADL	Aktivitäten des täglichen Lebens
ARDS	Akutes respiratorisches Distress-Syndrom
BGA	Blutgasanalyse
Bpm	Schläge pro Minute
cmH ₂ O	Zentimeter Wassersäule
COPD	chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CRF	Erhebungsbogen
ECMO	Extrakorporale Membran-Oxygenierung
HF	Herzfrequenz
ICU	Intensivstation
IMT	inspiratorisches Muskeltraining
mbar	Millibar
MCID	minimaler für den Patienten bedeutsamer Unterschied
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mMRC	Modified British Medical Research Council
MTT	Medizinische Trainingstherapie
NW	Nordic Walking
P _i _{max}	maximaler statischer Inspirationsdruck
PR	Pulmologische/ Pneumologische Rehabilitation
Sec	Sekunden
SpO ₂	Sauerstoffsättigung pulsoxymetrisch gemessen
6MWT	6 Minuten Gehstest

Tabellen

Tabelle 1:	<u>Darstellung des Patientinnen- und Patientenkollektiv</u>	
	Quelle: Michaela Schöfer.....	11
Tabelle 2:	<u>Trainingseinstellungen des inspiratorischem Atemmuskeltrainings</u>	
	Quelle: Michaela Schöfer.....	25
Tabelle 3:	<u>Erhobene Werte $P_{i_{max}}$ in cmH_2O und 6MWT in m im Vergleich vorher zu nachher</u>	42
	Quelle: Michaela Schöfer	
Tabelle 4:	<u>Darstellung der ermittelten mMRC Werte in Grad 0 bis IV</u>	42
	Quelle: Michaela Schöfer	

Abbildungen

Abbildung 1:	<u>Klassifizierung der Covid- 19 Erkrankung</u> nach Koczulla et al. (2021) [6]	2
Abbildung 2:	<u>Mechanik der Inspiration</u> Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Univ.-Prof. Dr. Hinghofer-Szalkay, physiologie.cc [5].....	4
Abbildung 3:	<u>Schematische Darstellung der Atemmuskulatur</u> Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Univ.-Prof. Dr. Hinghofer-Szalkay, physiologie.cc [8].....	5
Abbildung 4:	<u>Setup des gerätegestütztem Atemmuskeltraining</u> Quelle: Foto Michaela Schöfer.....	9
Abbildung 5:	<u>Trainingsmethoden des inspiratorischen Atemmuskeltraining</u> Quelle: Michaela Schöfer nach Göhl et al.(2016), Atemmuskeltraining: State-of-the-Art [12]	10
Abbildung 6:	<u>Effekte und Evidenzgrad der pneumologischen Rehabilitation</u> Quelle: Mit freundlicher Genehmigung der ÖGP Pocket Card „Rehabilitation“, ÖGP [18].....	12
Abbildung 7:	<u>Komponenten der ambulanten pneumologischen Rehabilitation</u> Quelle: Mit freundlicher Genehmigung der ÖGP Pocket Card „Rehabilitation“, ÖGP [18].....	14
Abbildung 8:	<u>Demographie der Patientinnen und Patienten, Anzahl, Mittelwert und Standardabweichung.....</u>	21
Abbildung 9:	<u>Respifit S TM Gerät</u> Quelle: Foto Michaela Schöfer.....	25
Abbildung 10:	<u>Pep/ Rmt TM Gerät</u> Quelle: Foto Michaela Schöfer.....	25
Abbildung 11:	<u>Pulsoxymetrie: Anlage und Anzeige des Pulsoxymeters</u> Quelle: Foto Michaela Schöfer.....	28
Abbildung 12:	<u>Veränderungen im P_imax und 6MWT</u> Quelle: Michaela Schöfer.....	35
Abbildung 13:	<u>Zusammenhang zwischen P_imax und 6MWT</u> Quelle: Michaela Schöfer.....	36
Abbildung 14:	<u>Messungen zum Sauerstoffgehalt des Blutes und der Herzfrequenz</u> Quelle: Michaela Schöfer.....	37
Abbildung 15:	<u>Messungen zum Sauerstoffgehalt des Blutes und der Herzfrequenz</u> Quelle: Michaela Schöfer.....	38

Abbildung 16: <u>Ergebnisse zum “Modified Medical Research Council” (mMRC)</u> Quelle: Michaela Schöfer.....	39
Abbildung 17: <u>Statistische Zusammenhänge des mMRC</u> Quelle: Michaela Schöfer.....	40

Zusammenfassung in Deutsch

Einleitung:

Seit 2020 hat das inspiratorische Atemmuskeltraining zu den etablierten Diagnosen bei chronischen Erkrankungen der Atemwege eine neue Indikation dazubekommen: die Coronavirus Erkrankung COVID-19. Deren Auslöser, das Virus SARS-CoV2, kann bei jedem Menschen unterschiedliche physische, psychische und kognitive Auswirkungen haben. Nach Abklingen der akuten Symptome können Atemnot, reduzierte Leistungsfähigkeit, Muskelschwäche und Erschöpfung über Wochen bis Monate bestehen bleiben. Dieses aus vielen Faktoren bestehende Krankheitsgeschehen führt zu gesundheitlichen Langzeitfolgen, die die Patientinnen und Patienten in ihrem privaten und öffentlichen Leben beeinträchtigen. Die pneumologische Rehabilitation ist ein komplexes Maßnahmenpaket bestehend aus Untersuchungen, Therapien und Schulungen für Patientinnen und Patienten mit Erkrankungen der Atemwege. Ein wesentlicher Bestandteil der Physiotherapie ist das inspiratorische Atemmuskeltraining, eine etablierte Behandlungsmaßnahme bei chronischen Atemwegserkrankungen, wenn eine Schwäche der Atemmuskulatur vorliegt.

Methodik:

Die vorliegende retrospektive Studie widmet sich der Bestimmung der Effektgröße des Einflusses eines inspiratorischem Atemmuskeltrainings auf die maximale Atemmuskelkraft, die körperliche Ausdauerleistung und die Dyspnoe von Patientinnen und Patienten nach einer COVID-19 Infektion, die in einem 3-wöchigen, stationären Setting erreicht werden kann. Veränderungen im maximalen statischen inspiratorischen Einatemdruck, 6 Minuten Gehstest und Verbesserungen der Dyspnoe wurden untersucht.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse innerhalb des Patientinnen- und Patientenkollektivs (n=16) zeigen eine statistisch signifikante Verbesserung im $P_{i_{max}}$ um 41 %. Die beobachtete Effektstärke für $P_{i_{max}}$ kann als „starker“ Effekt eingestuft werden. Für den 6MWT ergaben die Berechnungen einen Cohens d von $d = 0,52$ („mittelgradiger“ Effekt)

und einem Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation von $r = 0,25$.

Conclusio:

Diese Pilotstudie zeigt, dass davon ausgegangen werden kann, dass jenes im Rehabilitationssetting implementierte Atemmuskeltraining wesentlich zur Verbesserung der Atemmuskelkraft, Leistungsfähigkeit und Dyspnoe bei Post COVID Patientinnen und Patienten beitragen kann.

Die signifikante Verbesserung und deren hohe Effektgröße des Vergleichs Pi_{max} bei Aufnahme versus Pi_{max} bei Entlassung zeigt, dass auch nach COVID-19 eine Verbesserung der Atemmuskelkraft möglich ist und somit das Training als eine wichtige therapeutische Indikation angesehen werden kann.

Schlagwörter: COVID-19; inspiratorisches Atemmuskeltraining; pneumologische Rehabilitation; Dyspnoe

Abstract in English

Introduction:

Since 2020, inspiratory respiratory muscle training has added a new indication to the established diagnoses of chronic respiratory diseases:

the coronavirus disease COVID-19. Its trigger, the SARS-CoV2 virus, can have different physical, psychological and cognitive effects in each person. Once the acute symptoms have resolved, shortness of breath, reduced performance, muscle weakness and fatigue may persist for weeks to months. This multi-factor disease leads to long-term health consequences that affect patients in their private and public lives. Pneumological rehabilitation is a complex package of measures consisting of examinations, therapies and training for patients with respiratory diseases. An essential component of physiotherapy is inspiratory respiratory muscle training, an established treatment measure for chronic respiratory diseases, if the respiratory muscles are weak.

Methodology:

This retrospective study is dedicated to determining the effect size of the influence of inspiratory respiratory muscle training on maximum respiratory muscle strength, physical endurance performance and dyspnea in patients following a COVID-19 infection, which can be achieved in a 3-week inpatient setting. Changes in maximum static inspiratory inhalation pressure, 6-minute walk test, and improvements in dyspnea were investigated.

Results:

Results within the patient population (n=16) show a statistically significant improvement in $P_{i_{max}}$ of 41%. The observed effect strength for $P_{i_{max}}$ can be classified as a “strong” effect. For the 6MWT, the calculations yielded a Cohens d of $|d| = 0.52$ (“medium degree” effect) and a Pearson-product moment correlation coefficient of $r = 0.25$.

Conclusion:

This pilot study shows that respiratory training implemented in the rehabilitation setting can be expected to contribute significantly to improving respiratory muscle strength, performance and dyspnea in post-COVID patients.

The significant improvement and its high effect size of the comparison of $P_{i_{max}}$ at admission versus $P_{i_{max}}$ at discharge shows that even after COVID-19 an improvement of respiratory muscle strength is possible and therefore training can be considered an important therapeutic indication.

Keywords: COVID-19; pneumological rehabilitation; inspiratory respiratory muscle training; dyspnea

1. Einleitung

1.1 COVID-19 Infektion

Die Coronavirus- Erkrankung COVID-19 ist eine Infektionskrankheit, deren Auslöser, das Virus SARS-CoV2 seit 2019 für eine weltweite Pandemie sorgt und bei jedem Menschen unterschiedliche physische, psychische und kognitive Auswirkungen haben kann [1].

Das Robert-Koch-Institut in Deutschland definiert den Schweregrad der COVID-19 Infektion in 4 Stufen: „asymptomatisch“ mit positivem SARS-CoV- 2- PCR Test, jedoch ohne Symptome, „moderat“ mit Pneumonie ohne einen Spitalsaufenthalt, „schwer“ mit schwerer Pneumonie und Spitalsaufenthalt und „kritisch“ mit akutem Lungenversagen („Acute Respiratory Distress Syndrome“ ARDS) und der Notwendigkeit einer mechanischen Beatmung bei intensivpflichtigen Patientinnen und Patienten [2]. In diesem Zusammenhang spricht man von „mildem“ bis „schwerem“ Verlauf der Erkrankung.

Während der akuten Infektionsphase bestehen die häufigsten Symptome in Fieber, Halsschmerzen, Störungen des Geruchs- und Geschmackssinns, Husten und Müdigkeit. Das Spektrum der pulmonalen Manifestationen reicht von Dyspnoe, über fibrotische Veränderungen bis zu mechanischer Ventilation [3].

Nach Abklingen der akuten Symptome können Atemnot, reduzierte Leistungsfähigkeit, Muskelschwäche und Erschöpfung bestehen bleiben. Von pulmologischer Seite bleiben fibrotische Veränderungen, restriktive Ventilationsstörungen und Hypoxie bei COVID-19 als Residuum nach Abklingen des akuten ARDS am häufigsten bestehen. Diese Beschwerden können persistieren, phasenweise auftreten oder neu hinzukommen.

Anhaltende Beschwerden über 4 Wochen nach Infektion werden als „Long-COVID“ bezeichnet, bei Bestehen der Beschwerden über mehr als 12 Wochen spricht man von „Post-COVID“, sofern die Beschwerden nicht anderwärtig erklärbar sind [3], wie in Abbildung 1. dargestellt.

Dieses aus vielen Faktoren bestehende Krankheitsgeschehen führt zu gesundheitlichen Langzeitfolgen, die die Patientinnen und Patienten in der Teilhabe an ihrem privaten und öffentlichen Leben beeinträchtigen.

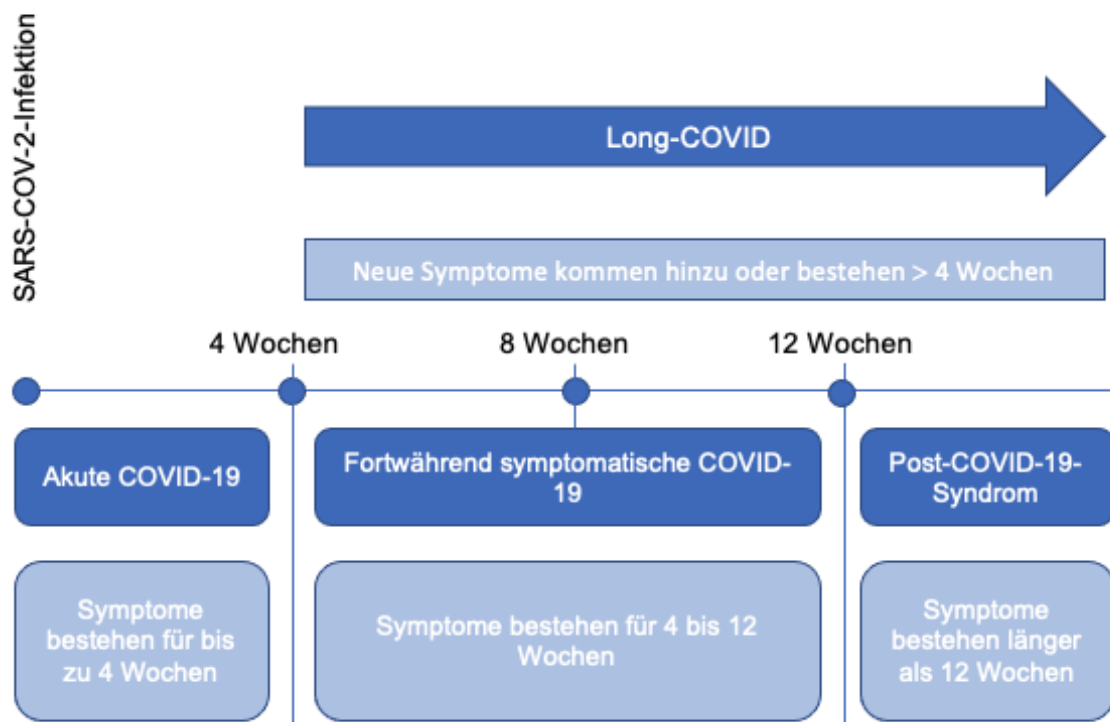


Abbildung 1: Klassifizierung der Covid- 19 Erkrankung

Quelle: Michaela Schöfer nach S1 Leitlinie Post-COVID/Long-COVID Koczulla et al. 2021 [6]

Die anhaltenden Beschwerden können sowohl nach schweren wie auch nach leichten Verläufen auftreten. Die Symptome von Long-COVID sind sehr variabel und reichen von Befindlichkeitsstörungen bis zu massiven Einschränkungen. Symptome können auch nach einem beschwerdefreien Zeitraum wieder auftreten oder neu hinzukommen [3].

Die pulmologisch/ pneumologisch persistierenden Aspekte können aus subjektiv empfundener Dyspnoe vor allem bei körperlicher Anstrengung, aber auch in Ruhe sowie unspezifischen thorakalen Beschwerden oder Schmerzen bestehen.

Leichte oder starke Dyspnoe kann sowohl nach mildem aber auch nach schwerem Verlauf anhalten und zu körperlich reduzierter Belastbarkeit führen. Da Dyspnoe oft beschrieben wird, jedoch nicht immer in der Bildgebung verifizierbar ist, sollen diese Beschwerden mittels Funktionstest in Ruhe und unter Belastung abgeklärt werden [4;6].

Im Falle von kardiorespiratorischer Genese empfehlen Koczulla et al. in der aktualisierten Ausgabe der „S1 Richtlinie Post-Covid“ mit Stand vom 17.08.2022 eine symptomorientierte Therapie, bei der unterstützende Atem-und Physiotherapie hilfreich sein kann [6].

Die pneumologische Abklärung von physiotherapeutischer Seite enthält statische Belastungstests, wie die Messung des maximalen statischen Inspirationsdruckes $P_{i\max.}$, sowie funktionelle Belastungstests wie den 6 Minuten Gehtest 6MWT.

Das Erfassen dieser subjektiven und objektiven Limitationen bestimmt die Behandlung dieser physischen, pneumologischen Symptomatik als ein Kerngebiet der Physiotherapie.

1.2 Physiologie und Pathophysiologie der Atemmuskulatur und Atempumpe

Die Atempumpe besteht aus allen Strukturen, die zur Belüftung der Lunge beitragen: knöcherner Thorax, Atemmuskulatur und Atemzentrum mit den peripheren Nervenbahnen.

Die Atempumpe dient der Belüftung (Ventilation) der Alveolen und sorgt durch eine komplexe Verschiebung intrathorakaler Volumina für die nötigen Drücke, um den Antransport von Sauerstoff und den Abtransport von CO_2 zu ermöglichen.

Im Folgenden wird auf die Mechanik der Inspiration eingegangen:

Der inspiratorische Hauptatemmuskel und damit der wichtigste Teil der Atemmuskulatur ist das Zwerchfell. Es funktioniert für das Atemsystem wie eine vitale Pumpe und trennt den Brust- vom Bauchraum. Bei Inspiration kommt es durch Anspannung des Zwerchfells zu einer Abflachung dieser Muskelplatte, die sich dabei von der inneren Thoraxwand entfernt.

Der Brustraum wird nach unten erweitert und es kommt zu einer Bewegung der Rippen, die bewirkt, dass Luft in die Lungen gesaugt wird [5]. Die Lungenareale können sich besser entfalten und an Größe zunehmen. In Ruhe übernimmt das Zwerchfell bis zu 80% der Atmung [8].

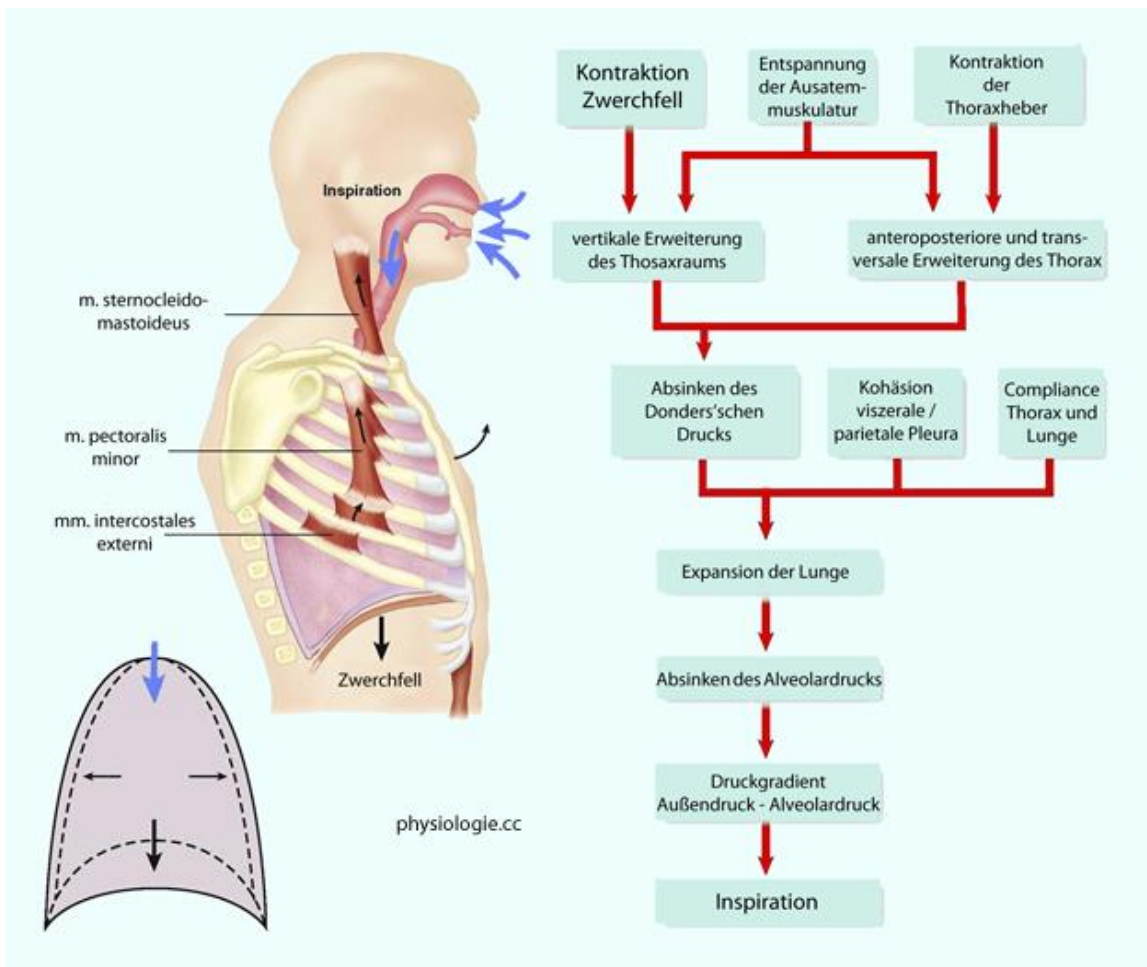


Abbildung 2: Mechanik der Inspiration

Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Univ.-Prof. Dr. Hinghofer-Szalkay, physiologie.cc [5]

Unterstützt wird das Zwerchfell bei der Inspiration von der Zwischenrippenmuskulatur, den *Musculi intercostales externi*, die gemeinsam mit dem Zwerchfell das Erweitern des Thorax bewirken, die Lunge nach vorne und seitlich erweitern und im Pleuraspalt einen Unterdruck erzeugen. Durch die Verminderung des Alveolardrucks kann Luft in die Lunge einströmen, es kommt zur Ventilation [5].

Die Zwischenrippenmuskulatur ist für die Stabilisation des Brustkorbes während der Inspiration verantwortlich, wodurch der Brustkorb dem Sog des Einatemdruckes standhalten kann. In Ruhe arbeiten das Zwerchfell und die *Musculi Intercostales externi* synchron, bei Anstrengung unterstützen sie das Heben der Rippen, daher werden sie in ihrer Gesamtheit als primäre Atemmuskel bezeichnet [8].

Weitere Faktoren für eine physiologische Atmung sind die Dehnbarkeit der Lunge und ihrer Komponenten (Compliance) und der Widerstand in den Atemwegen (Resistance), die die Druckunterschiede bei In- und Expiration bewerkstelligen.

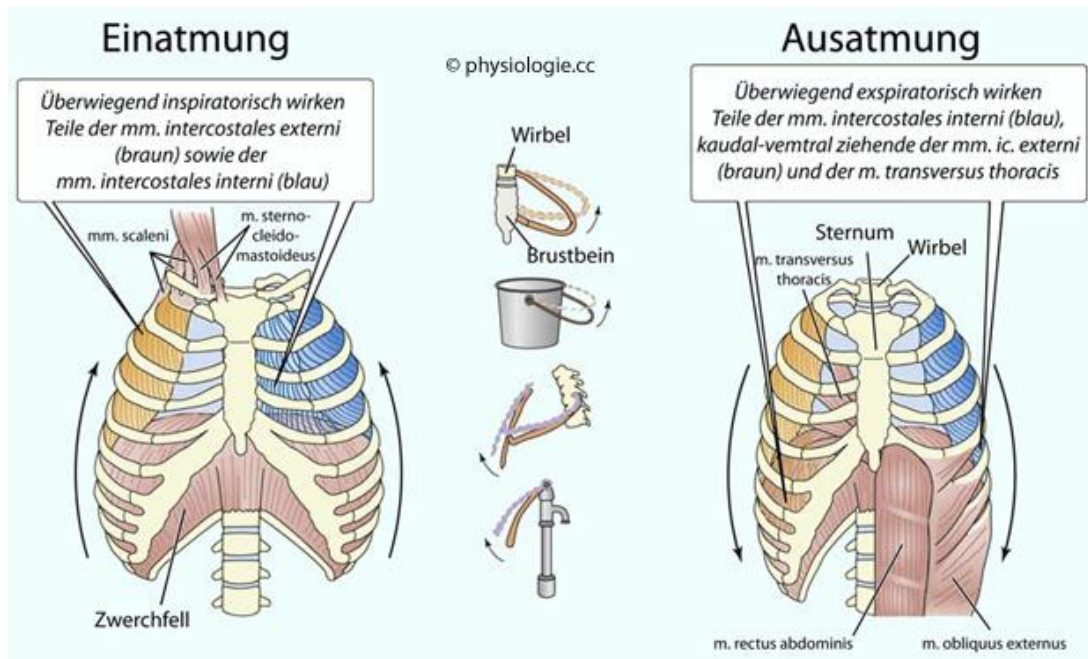


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Atemmuskulatur.

Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Univ.-Prof. Dr. Hinghofer-Szalkay, physiologie.cc [8]

Unter normalen Umständen hat die Atempumpe genug Kapazität, um die ihr auferlegte Atemlast zu bewältigen. Forcierte Einatmung entweder physiologisch bei körperlicher Anstrengung oder pathologisch bei restriktiven Ventilationsstörungen erfordert einen Einsatz von weiterer Muskulatur: der sogenannten inspiratorischen Atemhilfsmuskulatur. Diese Muskulatur versucht, die Arbeit des Zwerchfells zu unterstützen, respektive teilweise zu übernehmen.

Dazu gehören die *Musculi scaleni*, der *Musculus pectoralis major*, der *Musculus sternocleidomastoideus* und der *Musculus trapezius* (Abb. 3). Diese versuchen die Rippen, den Brustkorb und das Brustbein zu heben, um eine verbesserte Volumenzunahme des Thorax zu ermöglichen [8]. Sichtbar wird dies durch Anspannung von Hals- und Nackenmuskulatur im Zuge der Inspiration, sowie durch

Abstützen mit den Armen, wie es z.B. bei Patientinnen und Patienten mit chronischer obstruktiver Lungenerkrankung COPD notwendig ist.

Hierbei fungieren die Schulter- und Nackenmuskeln durch den Wechsel von *Punctum fixum* und *Punctum mobile* nicht als bewegende Muskulatur für die Schultern und Arme (*Punctum mobile*), sondern sie heben durch Abstützen der Arme den Brustkorb (*Punctum fixum*). Diese veränderte Position wird in der Atemtherapie als „atemerleichternde Position“ zur Reduzierung der Dyspnoe in Ruhe oder vermehrter Atemarbeit geschult.

Im Fall von COVID-19 kommt es in der Akutphase im Rahmen einer Pneumonie oder eines ARDS zu einer Störung der O₂ Aufnahme durch milchglasartige Infiltrate und Verdichtungen im Lungengewebe, die sich in der Bildgebung darstellen lassen [2]. Diese Zeichen einer interstitiellen Lungenerkrankung setzen die Compliance der Lunge herab. Das Gewebe lässt sich nur schwer verformen, für die Dehnung der Lunge muss erhöhte Atemarbeit aufgewendet werden [5], es kommt zur pulmonalen Insuffizienz.

Nach Abklingen der akuten COVID-19 Symptomatik kann unabhängig vom Schweregrad der Erkrankung pneumologisch Dyspnoe und reduzierte körperliche Belastbarkeit bestehen bleiben [3].

Dies lässt sich unter anderem auch im Verlust von Muskulatur durch COVID-19 erklären: Atemmuskelschwäche kann als Grundlage der Dyspnoe vorliegen, wenn der $P_{i_{max}}$ reduziert ist, und zwar bei Männern < 80 mbar und bei Frauen < 70 mbar [3].

Jeder Zustand, der die inspiratorische Muskulatur beeinträchtigt, erhöht den Aufwand für die Ventilation. Es bedeutet, dass erhöhte Atemarbeit geleistet werden muss, also mehr Energie zur Überwindung der Widerstände bei der Einatmung aufgewendet wird. Kann die Energie für die vermehrte Atemarbeit nicht mehr bereitgestellt werden, führt dies von Ermüdung bis zur Erschöpfung der Muskulatur und damit zur Dyspnoe.

Dyspnoe kann bei schwerer, körperlicher Anstrengung, aber auch bereits in Ruhe auftreten. Eine Erschöpfung der Atemmuskulatur betrifft daher immer nur die Inspirationsmuskulatur [7].

Durch Verringerung der atemmuskulären Kraftentwicklung kann es zu einer ventilatorischen Insuffizienz kommen. Das bedeutet, dass die Atempumpe nicht mehr in der Lage ist, das im Körper vorhandene CO₂ abzuatmen. Ursachen dieser Insuffizienz kann die gesteigerte Atemlast oder eine verringerte Atemkraft sein, bzw. ebenso auftreten, wenn die Atemlast die Atemkraft übersteigt [7].

Schwäche der inspiratorischen Muskulatur kann sich in der Praxis bereits in der physiotherapeutischen Inspektion zeigen und mit einem Blick auf erhöhte Atemarbeit schließen lassen. Diese gilt es, bei inspiratorischem Atemmuskeltraining zu minimieren, um das Zwerchfell maximal zu fordern.

1.3 Inspiratorische Atemmuskelkraft und Inspiratorisches Atemmuskeltraining

Dyspnoe im Rahmen der COVID-19 Erkrankung äußert sich vor allem als Kurzatmigkeit bei körperlicher Belastung. Bei subjektiv ausgeprägter Dyspnoe und dem Verdacht auf Schwäche der Inspirationsmuskulatur, wird zur objektiven Abklärung die inspiratorische Atemmuskelkraft gemessen.

Zur Bestimmung des maximalen statischen Inspirationsdrucks wird der $P_{i_{max}}$ erhoben. Für die Erhebung der inspiratorischen Atemmuskelkraft ist ein eigenes, forciertes Verfahren erforderlich, da diese nicht bei der Standardspirometrie erhoben wird [11].

Dabei wird eine maximal forcierte Inspiration gegen ein verschlossenes Ventil durchgeführt [15]. Diese Inspirationen sollen kurz, scharf und mit maximaler Kraft ausgeführt werden. Es sollen 7-10 Wiederholungen gemacht werden, dabei werden die Patientinnen und Patienten maximal motiviert, die beiden höchsten Werte sollen eine Differenz $<_{10}_{\%}$ aufweisen [9].

Die Messung der inspiratorischen Atemmuskelkraft dient der Feststellung einer Atemmuskelschwäche bzw. ob erhöhte Atemarbeit aufgrund einer erhöhten

Atemlast geleistet werden muss [9]. Der gemessene $P_{i_{max}}$ stellt einen Wert dar, der eine Aussage über die Muskelkraft des Zwerchfells gibt, und korreliert meist mit Dyspnoe. Die Dyspnoe im Zusammenhang mit Atemmuskelschwäche nach COVID-19 ist somit eine Indikationsstellung für die Ermittlung des $P_{i_{max}}$.

Die Messung des $P_{i_{max}}$ ist ein mitarbeitsabhängiges Verfahren, es dient der Abschätzung der globalen Atemmuskulaturkraft [9]. Die Erfassung des Wertes kann mit einem extra Manöver in der Spirometrie erfolgen oder mit einem Handmessgerät. Nach der „Leitlinie Physiotherapie für Post-COVID-19-PatientInnen“ wird gerätegestütztes inspiratorisches Atemmuskulaturtraining nach COVID-19 Infektion ab einem Wert ≤ 60 Millibar (mbar) empfohlen [13].

Wie bereits erwähnt, übernimmt das Zwerchfell in Ruhe bis zu 80% der Atemarbeit. Nach akuter Erkrankung kann nicht nur eine Muskelschwäche durch allgemeine Abbauprozesse entstehen, es kann auch das Atemmuster verändert sein. Reduzierte Zwerchfellmobilität, flachere Atmung, erhöhte Atemfrequenz und damit verbunden höherer Energieverbrauch und raschere Ermüdung führen ebenfalls zu Dyspnoe, die sich in vermehrtem Einsatz der inspiratorischen Atemhilfsmuskulatur zeigen kann [3].

Inspiratorisches Atemmuskulaturtraining ist ein wichtiger Bestandteil der Atemphysiotherapie. Die unter Punkt 1.2 beschriebene Atemmuskulatur besteht aus quergestreifter Muskulatur und ist der Skelettmuskulatur gleichzusetzen was bedeutet, dass sie prinzipiell in Kraft und Ausdauer trainierbar ist [12].

Gerätegestütztes Atemmuskulaturtraining kann die Funktion der Atemmuskulatur verbessern. Dabei werden wiederholt maximale Einatmungen gegen einen Widerstand durchgeführt [8]. Voraussetzung dafür ist die richtige Dosierung des Widerstandes, der durch die vorangehende Messung des $P_{i_{max}}$ erstellt wird.



Abbildung 4: Setup des gerätegestütztem Atemmuskeltraining

Quelle: Foto Michaela Schöfer

Es haben sich 3 Methoden des Trainings etabliert [12]:

1. Resistive Load (Kontrollierte Stenoseatmung): hier werden wenige, tiefe Inspirationen mit hohem Kraftaufwand gegen einen Widerstand, der mindestens 30% der maximalen Inspirationskraft beträgt, durchgeführt. Kontrollierte Stenoseatmung zielt auf das Training der Maximalkraft ab. Das Einatmen über die Stenose bewirkt eine Erhöhung des Atemwegswiderstandes, daher ist sie vom Atemfluss abhängig. Eine Kontrolle des erreichten Wertes über Feedbackmechanismen ist erforderlich, damit die korrekte Ausführung angezeigt werden kann.
2. Threshold Load: auch hier wird mit einem Widerstand trainiert, der mindestens 30% des $P_{i_{max}}$ entspricht. Es wird vorher ein definierter Widerstand erstellt, der als Schwelle fungiert und überwunden werden muss. Im Anschluss an das Erreichen des Schwellenwertes bleibt der Widerstand

gleich. Auch hier werden tiefe Inspirationen mit hoher Kraft durchgeführt. Allerdings ist diese Methode nicht vom Atemfluss abhängig und erfordert daher keinen Feedbackmechanismus.

3. Normokapnische Hyperpnoe: der Fokus dieses Trainings liegt auf der Ausdauerleistung der inspiratorischen Muskulatur. Hierbei werden rasche Atemmanöver sowohl inspiratorisch wie auch expiratorisch mit geringerem Kraftaufwand durchgeführt. Dieses Training ist das Einzige, das auch die Expirationsmuskulatur trainiert. Damit es zu keiner Hyper- oder Hypoventilation kommt, ist bei diesem Gerät ein Feedbackmechanismus erforderlich.

Resistive Load und Threshold Load dienen der Steigerung der Maximalkraft der inspiratorischen Muskulatur. Inspiratorische Muskelkontraktionen werden mit hohem Kraftaufwand und wenigen Wiederholungen durchgeführt [12].

Trainingsmethode	Fokus	Feedbacksystem	Speicherung Trainingsdaten	Hersteller
threshold load	Kraft und Ausdauer	nicht erforderlich	nein	Threshold IMT®, POWERbreath® Medic
resistive load; kontrollierte Stenoseatmung	Kraft und Ausdauer	optisch	ja	z.B. Respifit S®
resistive load; adaptive Stenoseatmung	Kraft und Ausdauer	optisch	ja	z.B. Powerbreathe (K-Serie)
normokapnische Hyperpnoe	Ausdauer	optisch/akkustisch	ja	z.B. Spirotiger®

Abbildung 5: Trainingsmethoden des inspiratorischen Atemmuskeltrainings

Quelle: Michaela Schöfer, nach Göhl et al. 2016 , Atemmuskeltraining: State-of-the-Art [12]

Durch die Steigerung der inspiratorischen Kraft wird das inspiratorische Volumen vergrößert, was wiederum bewirkt, dass die Alveolen besser mit Luft gefüllt werden. Ein weiteres Ziel des Trainings ist es, die Dyspnoe zu reduzieren, die bei ausdauernden Belastungen (z.B. schnelles Gehen, Stiegen steigen), auftreten können.

In der pneumologischen Rehabilitation von chronischen Erkrankungen der Atemwege ist das Training der inspiratorischen Atemmuskulatur neben weiteren atemphysiotherapeutischen Maßnahmen, der medizinischen Trainingstherapie und

der Bewegungstherapie eine Komponente der Therapiemaßnahmen aus dem Bereich der Physiotherapie.

Die beste Datenlage über Atemmuskeltraining gibt es bei Patientinnen und Patienten mit COPD: Das Training steigert sowohl die Atemmuskelkraft und -ausdauer als auch die körperliche Leistungsfähigkeit, wobei Patientinnen und Patienten mit geringerer Atemmuskelkraft am meisten profitieren [14]. Das Training nach der „resistive load“ Methode hat sich als optimale Form des inspiratorischen Atemmuskeltrainings bei obstruktiven Erkrankungen der Atemwege etabliert [15].

Im Falle einer COVID-19 Erkrankung kann während der Akutinfektion eine restriktive Ventilationsstörung durch Pneumonie entstehen, die sekundär eine Schwäche der Atemmuskulatur bewirkt. Ein anderer Denkansatz einer Studie von Motiejunaite et al. aus 2021 besteht in einem alveolären Hyperventilationssyndrom, das bei Patientinnen und Patienten nach der pulmonalen COVID-19 Infektion zu einer abnormen Belastungshyperventilation führt. Dadurch können Symptome wie Dyspnoe, Herzklopfen oder Brustschmerzen bei Anstrengung entstehen. Atemphysiotherapie mit Schulung eines korrekten Atemmusters und Training kann zur Reduktion dieser Symptomatik signifikant hilfreich sein [16].

Hayden et al. haben in ihrer Forschungsarbeit eine prospektive Studie eines 3-wöchigen, stationären Rehabilitationsprogrammes in Deutschland durchgeführt. Inspiratorisches Atemmuskeltraining wurde fakultativ ab einem $P_{i_{max}} < 7$ kPa durchgeführt, für 7 Einheiten pro Woche zu je 21 Minuten, wobei nur 1 Einheit davon unter Aufsicht durchgeführt wurde. Es zeigten sich signifikante Verbesserungen im 6 Minuten Gehstest 6MWT, dem $P_{i_{max}}$ und dem modified British Medical Research Council mMRC Fragebogen [17].

Das Training wird immer individuell an die Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten angepasst. In der stationären pneumologischen Rehabilitation gibt es verschiedene Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Neben den Faktoren, dass die Patientinnen und Patienten in der Lage sein müssen, das Gerät ordnungsgemäß zu handhaben, um das Training auszuführen und kontrollieren zu können, gilt es auch, das Training nach Ende der Rehabilitation weiterzuführen. Deshalb ist in der Auswahl des Gerätes und der Schulung besonderes Augenmerk

darauf zu legen [10]. Eine nähere Erläuterung der Geräte und der Ablauf des inspiratorischen Atemmuskeltrainings ist in Abschnitt „2.8 Praktische Durchführung des inspiratorischen Atemmuskeltrainings“ beschrieben.

1.4 Pneumologische Rehabilitation

Pneumologische Rehabilitation PR ist ein Maßnahmenpaket für Menschen mit chronischen Erkrankungen der Atmungsorgane [15]. Die Ziele der Rehabilitation beinhalten unter anderem körperliche und psychische Verbesserung, Verbesserung der Lebensqualität und bessere Bewältigung des täglichen Alltags inklusive Wiedereingliederung ins Berufsleben [18].

Die Komponenten Steigerung der Leistungsfähigkeit, Steigerung der Kraft und Ausdauer der Muskulatur, Reduktion von Atemnot und somit Steigerung der Lebensqualität werden von der ÖGP in Ihrer Pocket Card mit Evidenzgrad A bezeichnet (Abbildung 5) [18].

Effekte	Evidenzgrad
Steigerung der Lebensqualität	A
Steigerung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit	A
Verbesserung von Kraft und Ausdauer der Beinmuskulatur	A
Verbesserung von Kraft und Ausdauer der Armmuskulatur	A
Reduktion von Atemnot	A
Reduktion von Hospitalisationen und Tagen im Krankenhaus	A
Abnahme von Dyspnoe assoziierter Angst und Depression	A
Reduktion der Mortalität	B

Abbildung 6: Effekte und Evidenzgrad der pneumologischen Rehabilitation

Quelle: mit freundlicher Genehmigung der ÖGP Pocket Card „Rehabilitation“, ÖGP [18].

In Österreich erfolgt die Zuweisung zu einer Rehabilitation traditionellerweise über die Pensionsversicherungsanstalt im Anschluss an ein akutmedizinisches Ereignis [19]. Rehabilitationsbedürftigkeit und eine Rehabilitationsfähigkeit müssen gegeben sein.

Nach ärztlicher Abklärung durch eine Krankenhausambulanz, den niedergelassenen Facharzt oder einem Arzt für Allgemeinmedizin kann ein Antrag zur medizinischen Rehabilitation gestellt werden.

Nach den „Richtlinien für die ambulante pneumologische Rehabilitation“ [20] werden 4 Phasen der Rehabilitation unterschieden:

- Phase I bezeichnet die Frührehabilitation im Akutkrankenhaus bei stationärer Aufnahme.
- Phase II Rehabilitation findet im Anschluss an ein Akutereignis nach ärztlichem Ermessen im stationären Setting für 3 Wochen oder im ambulanten Setting für 6 Wochen statt. Diese Phase wird als Anschluss-Heilverfahren bezeichnet.
- Phase III findet nach Abschluss von Phase II für 6 – 12 Monate ambulant statt und dient der Stabilisierung der Effekte aus Phase II sowie der längerfristigen Lebensstilveränderungen, um neuerliche Erkrankungen vorzubeugen.
- Phase IV dient der Langzeitrehabilitation, in der die Patientinnen und Patienten in Eigenverantwortung die erlernten Maßnahmen ein Leben lang weiterführen sollen.

Im „Mein Peterhof“ der österreichischen Gesundheitskasse ÖGK in Baden bei Wien wird stationäre Rehabilitation der Phase II für 3 Wochen angeboten.

In dieser Zeit durchlaufen die Patientinnen und Patienten ein Behandlungsprogramm entsprechend den „Richtlinien der ambulanten pneumologischen Rehabilitation“ [20] und dem Rehabilitationsplan der Sozialversicherungen [21].

Die Indikationen zur PR wurden seit 2020 um eine neue Indikation erweitert - die Rehabilitation nach COVID-19 Infektion: Noch gibt es wenige große Studien, in kleinen Studien gibt es jedoch Evidenz über die Verbesserung der Leistungsfähigkeit nach COVID-19, einig ist allen, dass PR nicht nur möglich, sondern auch effektiv ist [22].

Komponenten der PR umfassen Diagnostik, Therapie und Schulungen. Die rehabilitationsorientierte Diagnostik dient der individuellen Anpassung des

Therapieprogrammes an die Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten. Physiotherapie beinhaltet Maßnahmen wie Bewegungstherapie, medizinische Trainingstherapie und Atemtherapie, von denen ein wichtiger Teil auch inspiratorisches Atemmuskeltraining ist.



Abbildung 7: Komponenten der ambulanten pneumologischen Rehabilitation

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung der ÖGP
Pocket Card „Rehabilitation“, ÖGP [18].

In der Leitlinie der AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften) für Betroffene, Angehörige, nahestehende und pflegende Personen wird Folgendes empfohlen, wie hier zitiert [25]:

Eine teilstationäre oder stationäre medizinische Rehabilitation sollte also immer dann verordnet werden, wenn nach COVID-19 krankheitsbedingt Beeinträchtigungen in Alltag und Beruf über längere Zeit fortbestehen und die ambulanten Therapiemöglichkeiten nicht ausreichen oder auch von den Patientinnen und Patienten nicht ohne Weiteres erreicht werden können.

Liegen vorwiegend noch Beeinträchtigungen der Atemwege und daraus resultierend eine geminderte körperliche Belastbarkeit vor, ist eine PCS-

Rehabilitation (Anm.: Post-COVID-Syndrom) in einer pneumologischen Rehabilitationseinrichtung angezeigt.

In der DGP-Empfehlung zur pneumologischen Rehabilitation bei COVID-19 wird angedacht, Behandlungskonzepte bei restriktiven pneumologischen Erkrankungen in die Behandlung nach COVID-19 einzubeziehen [26]. Zum gleichen Schluss kommt auch die österreichische Leitlinie S1: Long COVID: Differenzialdiagnostik und Behandlungsstrategien: Besteht postinfektiöse Symptomatik kann indikationsspezifisch pneumologische, neurologische, kardiologische oder psychiatrische Rehabilitation erfolgen. Die Therapien sollen dabei auf die bestmögliche Teilhabe der Patientinnen und Patienten je nach Einschränkungen von Körperfunktionen und Aktivitäten zielen [3].

Grundsätzlich lässt sich die routinemäßige Vorgehensweise am „Mein Peterhof“, wo die vorgelegte Studie durchgeführt wurde, wie folgt beschreiben:

- Die Patientinnen und Patienten werden nach ärztlicher Aufnahmeuntersuchung zum Rehabilitationsprogramm zugewiesen.
- Nach Abschluss der ärztlichen Untersuchungen (ärztliche Aufnahme, Spirometrie, Ergometrie und Blutgasanalyse BGA) erfolgt die Therapieeinteilung.
- Das Therapieangebot des „Mein Peterhof“ umfasst folgende Therapien, die nach Notwendigkeit individuell auf Bedürfnisse angepasst werden:
 - Physiotherapie: Atemphysiotherapie Einzel, Atemgruppe, funktionelles Training, medizinische Trainingstherapie MTT, Ausdauertraining Nordic Walking bzw. Mobil im Park und Atemmuskeltraining.
 - Ergotherapie: Ergotherapie Einzel, Activities of Daily Living ADL Training, Arbeitsplatzberatung, Thermoanwendungen (Paraffin, Sandbox)
 - Massage, Thermotherapie, Elektrotherapie

- Psychologie: Autogenes Training, Progressive Muskelentspannung, Entspannungstherapie im Einzel -oder Gruppensetting, Rauchfreiberatung
- Diätologie: Ernährungsberatung, Ernährung bei Lungenerkrankungen
- Fachspezifische Schulungen und Vorträge von diversen Berufsgruppen: Inhalationsschulung, Atemschule, Vorträge über Training und Lebensqualität, weitere Vorträge bei Komorbiditäten, wenn erforderlich

Eine Studie von Puchner et al. lässt sich mit der Rehabilitation wie sie im „Mein Peterhof“ angeboten wird, vergleichen. Untersucht wurde in dieser Kohortenstudie der Effekt von pneumologischer Rehabilitation nach schwerem und kritischem COVID-19 Verlauf. Nach 3-wöchigem, stationärem multidisziplinärem Rehabilitationsprogramm konnten die Autoren eine signifikante Verbesserung im 6MWT und dem Pi_{max} aufzeigen [23].

In einer retrospektiven Studie von Büsching et al. [24] in der Schweiz wurden Patientinnen und Patienten nach einem schweren Verlauf mit COVID-19 Infektion mit Patientinnen und Patienten mit Nicht-COVID-Pneumonie verglichen. Das standardisierte Rehabilitationsprogramm wurde an beiden Gruppen durchgeführt. In dieser Forschungsarbeit lag der Outcome der Rehabilitation nach COVID-19 in einer höheren Verbesserung der Leistungsfähigkeit und einer nur geringen Verbesserung der Lebensqualität im Vergleich zu Pneumonie- Patientinnen und Patienten. Der Benefit von pneumologischer Rehabilitation liegt in der Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der Lebensqualität, sowie in funktioneller Verbesserung [24].

Im Rahmen der physiotherapeutischen Behandlung erfolgt unter anderen Therapiemaßnahmen auch das Training der inspiratorischen Atemmuskulatur. Für diese retrospektive Pilotstudie wurden Daten aus routinemäßigen Untersuchungen und Therapien herangezogen, es wurde keine zusätzliche Intervention durchgeführt.

1.5 Rolle der Physiotherapie in der Rehabilitation

Pneumologische Rehabilitation ist ein komplexer Prozess aus vielen Komponenten, die Physiotherapie ist ein Teil eines multimodalen Programmes unter Einbeziehung verschiedener medizinischer Disziplinen. Mit diversen Behandlungskonzepten und Training soll Physiotherapie den physischen und psychischen Zustand der Patientinnen und Patienten verbessern.

Physiotherapie umfasst ein breites Spektrum an Assessments und Interventionen, die individuell auf die Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten abgestimmt sind. Nicht nur die Befundung, sondern auch das Eingehen auf das jeweilige Hauptproblem und die individuelle Behandlung tragen wesentlich zum Therapieerfolg bei. Die Mischung aus empirischem Wissen, diversen Behandlungskonzepten und täglicher Praxis ist ein essenzieller Teil der Therapie.

Die Befundung und Behandlung bei Patientinnen und Patienten nach COVID-19 besteht aus einem großen Spektrum, da durch dieses Krankheitsbild nicht nur respiratorische, sondern auch neurologische, sensomotorische, mentale und psychische Beeinträchtigungen auftreten können, aber auch Schmerzen und allgemeine Dekonditionierung. Funktionstests, Krafttests und Bewegungstests dienen der Erhebung des Allgemeinzustandes der Patientinnen und Patienten.

Im respiratorischen Bereich bestehen die Einschränkungen im Sinne einer restriktiven Symptomatik mit Schwäche der Atemmuskulatur und Dyspnoe. Der vermehrte Einsatz der inspiratorischen Atemhilfsmuskulatur, erhöhte Atemfrequenz und damit ein verändertes Atemmuster sowie reduzierte Thoraxmobilität lassen sich schon bei der Inspektion feststellen [13]. Auskultation, Messung des $P_{i\max}$ und die Erhebung der Dyspnoe über Scores sind weitere Maßnahmen der physiotherapeutischen Befundung.

Ein wichtiger Bestandteil der atemtherapeutischen Maßnahmen ist neben Thoraxmobilisation, Lagerung, Dehnung und Dyspnoemanagement das inspiratorische Atemmuskeltraining, eine etablierte physiotherapeutische

Behandlungsmaßnahme bei chronischen Atemwegserkrankungen, wenn eine Schwäche der Atemmuskulatur vorliegt. Bei COVID-19 Infektion kann nach Abklingen der akuten Symptome diese Schwäche bestehen bleiben und zu reduzierter Leistungsfähigkeit führen. Diese respiratorische Symptomatik gilt es, mit allen physiotherapeutischen Möglichkeiten zu verbessern.

1.6. Ziele und Hypothesen

Diese Studie hat zum Ziel, retrospektiv die Berechnung der Effektgröße von inspiratorischem Atemmuskeltraining während der 3-wöchigen stationären pneumologischen Rehabilitation bei Patientinnen und Patienten nach COVID-19 zu evaluieren.

Es soll gezeigt werden, ob in dem kurzen Zeitraum von 3 Wochen eine Steigerung der Atemmuskelkraft und damit verbunden eine Reduzierung der Belastungsdyspnoe möglich ist und wenn ja, in welchem Ausmaß.

1.7. Fragestellung

Das inspiratorische Atemmuskeltraining ist im „Mein Peterhof“ seit dem Etablieren der pneumologischen Rehabilitation 2015 Teil der physiotherapeutischen Behandlung und bei chronischen Erkrankungen der Atemwege ein fixer Bestandteil der Atemtherapie. Die Indikation zum Atemmuskeltraining nach COVID-19 Infektion und die Auswirkung des Trainings im Vergleich zu den bisherigen Erfahrungen bei chronischen Lungenerkrankungen ist eine neue Facette und hat zur Durchführung dieser Forschungsarbeit beigetragen.

Die primäre Fragestellung dieser Studie liegt in der Berechnung der Effektgröße von inspiratorischem Atemmuskeltraining auf die Atemmuskelkraft und die körperliche Leistungsfähigkeit: Es soll anhand eines Vergleiches der Daten von Aufnahme zu Entlassung des Rehabilitationsaufenthaltes bestimmt werden, in welcher Größe eine Veränderung stattfinden kann.

Das zweite Ziel dieser Forschungsarbeit liegt in der Auswirkung dieser möglichen Veränderung auf das subjektive Empfinden von Dyspnoe und reduzierter Atemleistung bei körperlicher Anstrengung.

Ob nun ein Zusammenhang zwischen dem Atemmuskeltraining und der Verbesserung der Leistungsfähigkeit besteht, soll an folgenden Hypothesen dargestellt werden:

H1:

Es ergeben sich signifikante Verbesserungen der maximalen Atemmuskelkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Als Gegenhypothese zur oben aufgestellten Hypothese H1 lässt sich die Hypothese H0 ableiten:

H0:

Es ergeben sich geringe bis keine Verbesserungen oder sogar Verschlechterungen der maximalen Atemmuskelkraft und der Leistungsfähigkeit.

Der Neuigkeitswert dieser Studie liegt in der Auswertung der Effektgröße von gerätegestütztem inspiratorischen Atemmuskeltraining im Rahmen der 3-wöchigen, stationären pneumologischen Rehabilitation und das Herausheben jener Parameter, welche sich am stärksten verändern. Die Ergebnisse dieser Studie können weitere Strategien für die Rehabilitation nach COVID-19 ermöglichen.

Ein weiteres Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, aus den Ergebnissen dieser Arbeit eventuelle Adaptionen für die physiotherapeutische Arbeit im stationären Rehabilitationssetting zu erarbeiten.

2. Methoden

2.1 Studiendesign

Diese vorgelegte retrospektive Studie soll die Effektgröße von inspiratorischem Atemmuskeltraining in einem 3-wöchigen stationären Rehabilitationsprogramm erheben. Dafür wurden Daten aus den Aufzeichnungen von routinemäßigen Untersuchungen und Therapien entnommen.

Für diese Forschungsarbeit wurde keine Intervention durchgeführt. Analysen zur Wirksamkeit werden nicht durchgeführt, sondern die Studie ist explorativ und dient der Berechnung der Effektgröße. Sie dient als Pilotstudie, um anhand der Effektgröße und der daraus resultierenden Ergebnisse eine größere randomisiert-kontrollierte Studie planen zu können.

2.2 Patientinnen- und Patientenkollektiv

Es wurden 16 Personen in die Studie eingeschlossen, die im Zeitraum von Oktober 2021 bis Mai 2022 im „Mein Peterhof“ zur pneumologischen Rehabilitation zugewiesen waren.

Es handelt sich um 9 Frauen und 7 Männer im Alter von 36 bis 78 Jahren, das Datum der COVID-19 Infektion liegt zwischen Dezember 2020 und Dezember 2021.

Ein Großteil der Patientinnen und Patienten befand sich während der Infektion in Heimquarantäne, 3 Personen absolvierten einen Spitalsaufenthalt, 2 Personen mussten in der ICU intensivmedizinisch betreut werden und bei 1 Person war eine Behandlung mit Extrakorporaler Membran-Oxygenierung ECMO erforderlich. Die Zuweisung zur Rehabilitation erfolgte zwischen Oktober 2021 und Mai 2022.

Patientinnen Patienten Nr.	Geschlecht	Alter	Verlauf	Pi _{max}	6MWT
1	w	36	ICU	29	385
2	w	50	HEIM	50	560
3	m	60	HEIM	19	390
4	m	67	ICU	56	375
5	m	69	HEIM	30	503
6	w	56	ECMO	48	410
7	w	41	SPITAL	31	220
8	w	51	HEIM	45	483
9	m	78	SPITAL	38	430
10	w	48	HEIM	40	440
11	w	50	HEIM	44	430
12	m	44	HEIM	55	550
13	m	52	HEIM	43	560
14	w	73	HEIM	40	400
15	w	77	HEIM	44	400
16	m	76	SPITAL	48	435

Tabelle 1: Darstellung des Patientinnen- und Patientenkollektivs bei Aufnahme
Angaben: Pi_{max} in cmH₂O, 6MWT in m

Patientinnen und Patientenkollektiv		Demographie
	Anzahl n	Jahre
Gesamtanzahl:	16	
Weibliche Patientinnen	9	
Männliche Patienten	7	
Durchschnittliches Alter		58,00
Standardabweichung		13,67

Abbildung 8: Demographie der Patientinnen und Patienten, Anzahl, Mittelwert und Standardabweichung

2.3 Setting

Die Erhebung der Daten fand im „Mein Peterhof“, einer Rehabilitationsanstalt der „Österreichischen Gesundheitskasse ÖGK“ in Baden bei Wien statt. Dieses Haus wurde 2015 nach einem Um- und Neubau als Rehabilitationszentrum für Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparates und zur Rehabilitation bei Lungenerkrankungen wiedereröffnet.

Seit diesem Zeitpunkt wurden in der Lungenrehabilitation vorwiegend Patientinnen und Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen wie COPD, Asthma bronchiale oder Lungenfibrose behandelt, aber auch nach Lungenoperationen und Pneumonien. Seit 2020 werden Patientinnen und Patienten nach COVID-19 Erkrankung bzw. Long-COVID zur Rehabilitation zugewiesen.

Ärztlicher Leiter dieses Hauses ist Prim. Dr. Roland Axmann, das ärztliche Team besteht aus 3 Fachärztinnen und Fachärzten für Pulmologie, 5 Fachärztinnen und Fachärzten für Innere Medizin, 1 Fachärztin für Unfallchirurgie und 3 Ärztinnen und Ärzte für Allgemeinmedizin. Das medizinische Personal setzt sich aus 19 Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten, 3 Ergotherapeutinnen und Ergotherapeuten, 4 diplomierten medizinischen Fachkräften, 7 medizinischen Masseurinnen und Masseuren, 3 Psychologinnen, 2 Diätologinnen sowie 15

diplomierten Gesundheits- und Krankenpflegerinnen und Krankenpflegern sowie 2 Pflegeassistentinnen zusammen. Interdisziplinäre Besprechungen werden täglich abgehalten, um die Patientinnen und Patienten bestmöglich zu betreuen.

Diese Forschungsarbeit wurde in enger Zusammenarbeit mit dem ärztlichen Leiter sowie den behandelnden Ärztinnen und Ärzten, Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten ausgearbeitet.

2.4 Erhebungsparameter

Die Erhebung der Daten erfolgte aus den standardisierten ärztlichen und physiotherapeutischen Befunddokumentationen des „Mein Peterhof“ und wurden pseudonymisiert prozessiert. In enger interdisziplinärer Zusammenarbeit werden die Diagnosen der Patientinnen und Patienten in Zusammenkünften besprochen und die Therapien und Maßnahmen aufeinander abgestimmt und dokumentiert. Ärztlicher Entlassungsbericht und physiotherapeutische Befunddokumentation enthalten diejenigen Daten, die auch von den Patientinnen und Patienten zur weiteren Vorlage bei behandelnden ÄrztInnen und Ärzten vorgelegt werden können. Als Stammdaten wurden der Name, das Alter und das Geschlecht und das Datum des Rehabilitationsaufenthaltes erhoben. Die klinischen Daten beinhalten das Datum der COVID-19 Erkrankung, den Schweregrad, Risikofaktoren und Komorbiditäten.

Als zu erhebende Parameter wurden die Werte des $P_{i_{max}}$ in cmH_2O , des 6MWT in m und des mMRC in Graden sowie der Sauerstoffsättigung SpO_2 in % und die HF in bpm erhoben und pseudonymisiert in Tabellen eingetragen und analysiert.

Im Anschluss wurden die für diese Studie zu erhebenden Parameter in ein eigens entworfenes Case Report Form (CRF) übertragen.

2.5 Haupt- und Nebenzielparameter

Die Fragestellung, welche Effektgröße bei inspiratorischem Atemmuskeltraining in einem stationären Rehabilitationssetting, während eines 3-wöchigen Aufenthaltes erreicht werden kann, wurde durch 2 Hauptzielgrößen erhoben, die eine Aussage über die Atemmuskelkraft und der körperlichen Ausdauerleistung liefern sollen.

Diese sind der $P_{i_{max}}$ und der 6WWT, beides etablierte Messmethoden in der Therapie bei Erkrankungen der Atemwege.

Als Nebenzielparameter wurden als Aussage über die Dyspnoe der mMRC-Fragebogen, sowie die SpO_2 und die Herzfrequenz HF in Schlägen/Minute (bpm) als Aussage über die Leistungsfähigkeit erhoben.

2.6 Ein- und Ausschlusskriterien

2.6.1 Einschlusskriterien

In diese Studie wurden 16 Patientinnen und Patienten eingeschlossen, die eine COVID-19 Infektion durchgemacht hatten, älter als 18 Jahre waren und rehabilitationsfähig waren sowie einen $P_{i_{max}} \leq 60$ cm H₂O aufwiesen.

2.6.2 Ausschlusskriterien

Primäre Ausschlusskriterien waren ein $P_{i_{max}} > 60$ cmH₂O, neurologische Erkrankungen, zentrale neuromuskuläre Atemstörungen und Kontraindikationen gegen inspiratorisches Atemmuskeltraining, wie akute kardiale Erkrankungen, instabile Angina pectoris, Erkrankungen mit hämodynamischer Beeinträchtigung oder akute Lungenerkrankungen.

2.7 Assessments

Assessments dienen der Erfassung und Beurteilung des Gesundheitszustandes von Patientinnen und Patienten. Sie werden als Qualitätsinstrument in der Gesundheitsversorgung eingesetzt [8].

In der Rehabilitation dienen Assessments vor allem der Diagnostik und der Verlaufsdokumentation, aber auch der weiteren Prognose. Messbare Ergebnisse auf Körperfunktionsebene dienen dem Behandlungsverlauf, weil die Therapie noch besser auf die Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten angepasst werden kann.

Die Auswertung von Fragebögen ermöglichen Erkenntnisse über die persönlichen Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten. Die Mischung aus objektiver Messung und subjektiven Angaben kann ein motivierender Faktor für die Patientinnen und Patienten sein.

In der pneumologischen Rehabilitation haben sich körperliche Leistungstests und das Erheben von Fragebögen als Ergänzung zur klinischen Untersuchung, Anamnese und Spiroergometrie etabliert. Im „Mein Peterhof“ wird der 6MWT und der mMRC-Fragebogen neben weiteren Parametern standardmäßig erhoben. Die Messung des $P_{i_{max}}$ wird erst seit der Behandlung von Patientinnen und Patienten nach COVID-19 Infektion routinemäßig erfasst.

2.7.1 Maximaler statischer Inspirationsdruck $P_{i_{max}}$

Die Aufzeichnung dieses Wertes erfolgt durch die maximale Inspiration bei geschlossenem Mund. Es ist darauf zu achten, dass kein Druckverlust durch die Nase entsteht. Die Messung kann im Rahmen der Spirometrie erfolgen, aber auch mittels Handgeräte wie dem PEP-RMTTM-Gerät oder dem Respifit STM [10;12].

Die Indikation zu gerätegestütztem inspiratorischen Atemmuskeltraining nach COVID-19 Infektion wird ab einem Wert ≤ 60 Millibar (mbar) empfohlen [13].

Die nicht pathologischen Normwerte der inspiratorischen Atemmuskelkraft liegen bei Frauen > 70 mbar und bei Männern > 80 mbar [9].

Der Druck von 60 mbar entsprechen 61,184 cm H₂O bzw. 6 Kilopascal (kPa). In dieser Studie wird der Druck in cmH₂O angegeben.

Die Messung und das Training der maximalen inspiratorischen Atemmuskelkraft werden im „Mein Peterhof“ mit 2 verschiedenen Geräten durchgeführt. Die Messung erfolgt mit Respifit STM (Abb. 8 A und B) oder dem PEP-RMTTM Gerät. Zur einfachen Auswertung werden die Werte von cm H₂O und mbar für diese Forschungsarbeit in cmH₂O umgerechnet. Die Messung des $P_{i_{max}}$ erfolgt mit 5-10 Versuchen, der höchste Wert wird als $P_{i_{max}}$ angegeben.

Unter Punkt 2.8 wird der praktische Ablauf des inspiratorischen Atemmuskeltrainings genau beschrieben.



Abbildung 9: Respifit S™ Gerät Gerät inklusive Handteil und Mundstück (A)
 Trainingseinstellung Krafttraining (B)
 Quelle: Foto: Michaela Schöfer



Abbildung 10: PEP/ RMT™ Gerät (A), Einstellung zu Messung des $P_{i_{max}}$ (B)
 Quelle: Foto Michaela Schöfer

2.7.2 6 Minuten Gehstest 6MWT

Als Assessment zur Feststellung der körperlichen Leistungsfähigkeit wird der 6MWT erhoben. Dieser Test stellt eine etablierte Untersuchung nach den Richtlinien der American Thoracic Society in der pneumologischen Rehabilitation dar und wird zur Beurteilung der submaximalen, funktionellen Ausdauerleistung herangezogen. Er dient der Messung vor und nach medizinisch-therapeutischen Interventionen bei Patientinnen und Patienten mit moderaten bis schweren kardialen und pulmonalen Erkrankungen [27].

Zu den absoluten Kontraindikationen für diesen Test zählt eine instabile Angina pectoris, als relative Kontraindikationen gelten eine Herzfrequenz über 120 bpm oder arterielle Hypertonie über 180/100 mmHg.

Zu den Abbruchkriterien bei diesem Test zählen Brustschmerzen, intolerable Dyspnoe, Beinkrämpfe, Schwindelgefühl, starkes Schwitzen, und fahle Hautfarbe. Gemessen wird die Gehstrecke, die Patientinnen und Patienten auf einer ebenen, abgesteckten Strecke in 6 Minuten zurücklegen können. Die Strecke ist alle 3 Meter und am Ende zu markieren.

Der Ablauf der Tests erfolgt wie hier beschrieben:

Die Patientinnen und Patienten sollen vor dem Test 10 Minuten sitzen, in dieser Zeit werden die Instruktionen zum Ablauf des Tests gegeben, die Dyspnoe mittels BORG-Skala 0-10 erfragt und die Werte der SpO₂ und der HF abgelesen. Das Pulsoxymetergerät wird auf die Fingerkuppe aufgesetzt und die Werte SpO₂ und HF werden abgelesen und dokumentiert. Der Vorteil der BORG-Skala liegt in der schnellen, einfachen Anwendbarkeit, 0 steht für „überhaupt keine Atemnot“, 10 steht für „maximale Atemnot“.

Während des Gehstests werden minütlich die Herzfrequenz in bpm und die SpO₂ in % erhoben und die noch verbleibende Zeit kommuniziert. Es soll keine Wertung oder übermäßige Motivation gegeben werden. Am Ende des Tests wird die Gehstrecke in m erhoben und erneut die Dyspnoe durch Abfrage der BORG-Skala 0-10 erfragt. Nach 1 Minute werden nochmals die SpO₂ und die HF abgelesen.

Die Dokumentation erfolgt in einem für diesen Test erstellten Formular (siehe Anhang 1).

Gehen ist eine Aktivität des täglichen Lebens ADL, bei der die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit an die Belastung angepasst wird. Im Gegensatz zu Belastungstests kann bei diesem Test die Intensität selbst bestimmt werden, das Tempo gewechselt werden oder gegebenenfalls Pausen eingelegt werden. Etwaige zusätzliche Belastungen wie das Gehen mit einer Gehhilfe oder das Tragen eines mobilen Sauerstoffgerätes spiegeln den funktionellen Alltag wider.

Die Bedingungen für den 6MGT sind genau definiert und müssen bei Aufnahme und Entlassung gleich sein: Als Beispiel sei die Verwendung einer Gehhilfe genannt: Ist diese bei Aufnahme erforderlich und kann während des Rehabilitationsaufenthaltes abgebaut werden, ist die Gehhilfe beim Entlassungstest wieder zu verwenden, sonst ist das Ergebnis des Tests nicht valide.

2.7.3 Pulsoxymetrie

Die Pulsoxymetrie ist ein nicht-invasives Verfahren und ein etabliertes Werkzeug zur Messung der arteriellen SpO₂ und der HF und wird in der Physiotherapie als Monitoring Tool eingesetzt. Das Gerät wird auf eine Fingerkuppe aufgesetzt, weil an dieser Stelle die Gefäßdicke sehr hoch ist. Die Messung erfolgt über Licht mit 2 verschiedenen Wellenlängen, das Hämoglobin absorbiert das Licht in Abhängigkeit von der Sauerstoffsättigung unterschiedlich, aus den Abschwächungsgraden wird mittels eines Algorithmus die SpO₂ in % berechnet.

Es wird während des 6MWT oder des Ausdauertrainings von den Patientinnen und Patienten getragen und minütlich von den Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten kontrolliert (wie in Abbildung 11 dargestellt). Ein Abfall der SpO₂ bzw. eine Erhöhung der HF außerhalb der zulässigen Parameter wird optisch und akustisch durch ein Alarmsystem angezeigt.

Während der Messungen gelten venöse Pulsation, übermäßige Bewegungen, kalte Finger oder Nagellack als Fehlerquelle, die das Ergebnis nach unten verfälschen können [28].



Abbildung 11: Pulsoxymetrie: Anlage und Anzeige des Pulsoxymeters, Anzeige der Sauerstoffsättigung in blau und Anzeige der Herzfrequenz in grün
Quelle: Foto Michaela Schöfer

2.7.4 mMRC-Skala

Die „Modified Medical Research Council Questionnaire for Assessing the Severity of Breathlessness“, kurz mMRC-Skala, dient zur Erfassung des Schweregrades der Dyspnoe.

Ursprünglich zur Beurteilung von chronischer Bronchitis entwickelt, ist die Skala heute vor allem in Zusammenhang mit der Beurteilung des Schweregrades der COPD im Einsatz. Die eindimensionale Skala ist leicht verständlich und im täglichen Praxisalltag einfach durchführbar. Zur Einschätzung der Veränderungen in einem längeren Zeitintervall ist die Skala sehr gut geeignet, für geringe Veränderungen in einem kurzen Zeitintervall scheint sie nicht so gut geeignet zu sein [30].

Atemnot soll nie ignoriert werden und nicht nur durch das Atemmuster beurteilt werden [29]. Das individuelle Empfinden der Patientinnen und Patienten ist in der Physiotherapie ein wichtiger Faktor zur Erstellung der therapeutischen Maßnahmen. Die Skala bietet eine messbare Unterstützung zur Angabe der

subjektiv empfundenen Atemnot, die von „Kurzatmigkeit bei körperlicher Anstrengung“ bis zu „zu gravierende Atemnot, um das Haus zu verlassen“ variieren kann.

Nicht jede Skala ist zur Erfassung aller Aspekte der Atemnot geeignet. Die Fragestellungen der mMRC-Skala beziehen sich vorwiegend auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, also das Gehen [30]. Die Selbsteinschätzung der Patientinnen und Patienten bietet hierfür ein etabliertes Werkzeug: Aus 5 Sätzen soll der Zutreffende ausgesucht werden, die Einteilung erfolgt in Grade. Je höher der Grad ist, desto stärker ist die Dyspnoe.

Grad 0 und I entsprechen einer milden Atemnot, die Grade II bis IV einer mittleren bis schweren Atemnot, die die Patientinnen und Patienten in der Ausübung ihrer Alltagstätigkeiten einschränken [31]. Siehe Anhang (2) mMRC Dyspnoeskala

2.8 Praktische Durchführung des inspiratorischen Atemmuskeltrainings

Im „Mein Peterhof“ wird das inspiratorische Atemmuskeltraining von Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten nach einem standardisierten Ablauf im Einzelsetting abgehalten.

Je nach Fähigkeiten und Akzeptanz der Patientinnen und Patienten wird mit zwei verschiedenen Geräten gearbeitet:

Respifit S TM ist ein flowkonstantes Gerät. Es bedeutet, dass erst ein bestimmter Einatemdruck aufgebaut werden muss, bevor Luft einströmen kann. Eine elektronische Menüführung bietet eine unterschiedliche grafische Darstellung des Übungsablaufes für das Kraft- und das Ausdauertraining.

Das PEP-RMT TM Gerät ist ein flowinkonstantes Gerät. Hierbei kann der aufgebaute Druck durch unterschiedliche Geschwindigkeit der Einatmung variiert werden. Deshalb bedarf der Umgang mit dem PEP-RMT TMGerät einer besonders sensiblen und aufmerksamen Einschulung [10].

Nach der Auswahl des Gerätes und der Messung des $PI_{max.}$, wie unter Punkt 1.5 beschrieben, erfolgt das inspiratorische Atemmuskeltraining:

Den Patientinnen und Patienten wird das jeweilige Gerät vorgestellt und der Zusammenbau, die Handhabung und die Reinigung erklärt. Es wird auf die aufrechte, korrekte Sitzposition geachtet, die gute Sicht auf das Gerät zur Kontrolle des erreichten Wertes und die korrekte Atemtechnik, wenn möglich mit geringem Einsatz der Atemhilfsmuskulatur. Die optimale Sitzposition ist ein freier Sitz ohne Armstütz, um den Einsatz der Nacken- und Schultermuskulatur so gering wie möglich zu halten.

Im Anschluss werden einige tiefe In- und Expirationen durchgeführt, um den Patientinnen und Patienten den Gebrauch des Gerätes und die richtige Atemtechnik nahezubringen.

Nach maximaler Expiration bis zum Residualvolumen soll so rasch wie möglich und kräftig durch den Mund eingeatmet werden. Zur Erhebung des $P_{i_{max}}$ werden 5-10 tiefe Inspirationen durchgeführt. Zur Festlegung der Trainingsintensität gibt es 2 verschiedene Methoden: Die Errechnung eines Mittelwertes aller Wiederholungen oder die Verwendung des höchsten gemessenen Wertes [10]. Das Team der Physiotherapie im „Mein Peterhof“ verwendet den höchsten Wert des $P_{i_{max}}$ als Referenzwert für das Training.

Die Einstellung für das Training erfolgt nach den folgenden Kriterien, wie in der Tabelle 2 ersichtlich.

Trainingsart	Trainingsfrequenz	Trainingsintensität % des $P_{i_{max}}$	Pause	Atemtechnik
Krafttraining	3 Sätze zu je 10 Wiederholungen	80	1 min	Rasche kräftige Inspiration
Ausdauertraining	10 Sätze zu je 1 Minute	50-70	30 sec	Gleichmäßige In- und Expiration

Tabelle 2: Trainingseinstellungen inspiratorisches Atemmuskeltraining
Quelle: Michaela Schöfer, nach Mayrhofer und Krenek [10]

Das Krafttraining wird mit 80% des gemessenen $P_{i_{max}}$ in 3 Sätzen zu je 10 Wiederholungen durchgeführt, bei denen so rasch und so kräftig wie möglich eingeatmet wird.

Das Ausdauertraining wird mit 50-70% des gemessenen Pi_{max} für 10-mal für jeweils 1 Minute, mit gleichmäßiger Ein- und Ausatmung, etwas tiefer als die normale Ruheatmung, durchgeführt. Die Pausen zwischen den Einheiten sollen 30 sec. betragen. Eine Anpassung an die Leistungsfähigkeit der Patientinnen und Patienten ist zu jedem Zeitpunkt über die Verlängerung der Pausen oder die Reduktion der Wiederholungen möglich. Während des Trainings wird auf die korrekte Ausführung geachtet, die erreichten Werte werden kontrolliert und dokumentiert und Fehler und Verbesserungsmöglichkeiten werden kommuniziert.

Das Training erfolgt in 3 Einheiten pro Woche während des 3-wöchigen Rehabilitationsaufenthaltes. Die Trainingsdauer ist vom Leistungsniveau der Patientinnen und Patienten abhängig, idealerweise kann die volle Trainingseinheit bestehend aus Kraft – und Ausdauertraining absolviert werden.

2.9 Erhebung der Daten

In dieser Studie werden die Dokumentationsdaten von 16 ehemaligen PatientInnen und Patienten des Rehabilitationszentrums „Mein Peterhof“ nach einer COVID-19 Erkrankung analysiert. Die Anzahl der Stichprobe ergab sich aus den für die Studie festgelegten Zeitraum; in diesem Zeitraum entsprachen 16 PatientInnen und Patienten den Einschlusskriterien.

Für die vorgelegte Studie liegt ein Ethikvotum vor:

Nr. GS4-EK-4/789-2022 /Datum: 26 Juli 2022/Ethikkommission NÖ

Die Diagnostik und Therapien finden während des Rehabilitationsaufenthaltes routinemäßig statt. Für die Analyse werden die Daten aus den ärztlichen Anamnesen und Untersuchungen, den aktiven Bewegungstests und aus den routinemäßigen Patientinnen und Patienten Befragungen entnommen, die am Beginn und am Ende des Rehabilitationsaufenthaltes erhoben werden.

In ein für diese Studie entworfenen CRF wurden die Daten dieser Patientinnen und Patienten übertragen. Dieses Formular enthält die pseudonymisierten Daten

Patientinnen und Patienten: die pseudonymisierten PatientInnen-Identifikationsnummer, das Geschlecht und das Geburtsdatum.

Weiters umfasst dieses Formular die Werte des $P_{i_{max}}$, des 6MWT, des mMRC sowie die SpO_2 und die HF während des 6MWT zu Beginn und am Ende des Rehabilitationsaufenthaltes.

2.9.1 Durchführung

Im Zeitraum von 10.04.2022 bis 05.05.2022 wurden die Datensätze der zur Rehabilitation in „Mein Peterhof“ zugewiesenen Patientinnen und Patienten nach COVID-19-Infektion erhoben. Primär wurden Patientinnen und Patienten nach der Zuweisung zur Rehabilitation ausgewählt.

In weiterer Folge wurde der ärztliche Verlaufsbericht herangezogen, um die für die Studie relevanten Parameter wie Datum der COVID-19 Infektion, Schweregrad der Infektion, Alter und Geschlecht zu erheben. Die Werte des mMRC-Fragebogens wurden ebenfalls aus dem ärztlichen Bericht erhoben.

Im nächsten Schritt wurde die physiotherapeutische Dokumentation herangezogen, um die Werte des $P_{i_{max}}$ und des 6MWT's zu erheben, mit dem auch die Werte des SpO_2 und der HF verbunden sind.

2.9.2 Ablauf

Nach Erhebung der für die Studie relevanten Daten und dem Einschluss in die Studie wurden die Daten in Tabellen erhoben und nach den zu erhebenden Parametern sortiert. Die Daten wurden pseudonymisiert und in ein Case Report Form übertragen. Diese wurden anschließend statistisch ausgewertet.

2.10 Methodik der Auswertung

Die Datenauswertung erfolgt zunächst über eine deskriptive statistische Auswertung mittels Microsoft Excel und GraphPad Prism Version 9.0.

Mittelwerte der einzelnen Parameter bei Aufnahme im Vergleich zur Entlassung wurden errechnet. Für kategoriale Daten (wie zum Beispiel dem Geschlecht)

wurden absolute Häufigkeiten und Häufigkeiten in % angegeben. Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt mit Hilfe von (gestapelten) Balkendiagrammen und Violinplots.

Für metrische Variablen (wie zum Beispiel dem Alter) wurde für die Zahl der gültigen Werte ($n=16$) jeweils der Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum in tabellarischer Form berichtet. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe von Histogrammen oder Boxplots.

Die statistischen Unterschiede wurden mittels Student's t-Test, One way ANOVA, non-parametrisch, Friedman Test oder dem Wilcoxon matched-pairs signed rank Test ermittelt bzw. die Korrelationen nach Pearson errechnet. Das jeweilig angewendete Testverfahren ist in den Abbildungen zusätzlich separat angeführt.

Um Aussagen über die Relevanz des ermittelten Effektes (Vergleich vorher/nachher) machen zu können, wurde die Effektgröße nach Cohens d berechnet werden; Cohens d wird als Effektstärkemaß für den Vergleich von zwei Mittelwerten verwendet und berechnet sich aus der Differenz der beiden Mittelwerte geteilt durch die Standardabweichung der Kontrollgruppe. Dabei zählt ein Wert kleiner 0.5 als kleiner Effekt, ein Wert zwischen 0.5 und 0.8 als mittlerer und Werte darüber als großer Effekt.

Für den Unterschied zwischen zwei Medianen (also passend zum Mann-Whitney U Test bzw. Wilcoxon Test) wird aus der standardisierten Teststatistik des entsprechenden Tests (z) und der Fallzahl (N) die Effektgröße r berechnet, dabei gilt ein Wert unter 0.3 als kleiner Effekt, zwischen 0.3 und 0.5 als mittlerer und Werte größer als 0.5 als starke Effekte.

3. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Datenauswertung analysiert und ausgewertet.

In Tabellen und Diagrammen werden die Daten veranschaulicht.

3.1. Deskriptive Ergebnisse

In Tabelle 3 im Anhang sind die gemessenen Werte der Hauptzielparameter $P_{i_{max}}$ und 6MWT dargestellt. Es zeigt sich bereits in dieser dargestellten Form eine deutliche Verbesserung der Werte im Vergleich vorher zu nachher.

In Tabelle 4 im Anhang sind die ermittelten Werte des mMRC-Fragebogens abgebildet und zeigen eine deutliche Reduktion der subjektiv empfundenen Atemnot.

3.2 Verbesserung in der maximalen Atemmuskelkraft und der Leistungsfähigkeit

Der Hauptfokus dieser Arbeit liegt in der Darstellung des Effektes eines inspiratorischen Atemmuskeltrainings während der 3-wöchigen stationären pneumologischen Rehabilitation bei Patientinnen und Patienten nach COVID-19 gemessen anhand von $P_{i_{max}}$ und des 6MWT im Vergleich von Aufnahme zu Entlassung. Im Zuge der retrospektiven Datenanalyse wurden der $P_{i_{max}}$ und der 6MWT im Vergleich vorher zu nachher analysiert und statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse zeigen eine statistisch signifikante Verbesserung im $P_{i_{max}}$ um 41 % (Mittelwert, \pm Standardabweichung: Aufnahme: 41,25 bmp, \pm 9.9 und Entlassung: 58,25 bmp, \pm 10.21) (Abb. 12A).

Ebenso zeigt der Vergleich der Ergebnisse aus dem 6MWT eine deutliche Verbesserung im Mittel von 436,9 m (\pm 85,34) bei Aufnahme auf 484,7 m (\pm 95,92) bei Entlassung, wodurch sich eine Zunahme in der Gehstrecke um 11,1 % feststellen lassen kann (Abb. 12B).

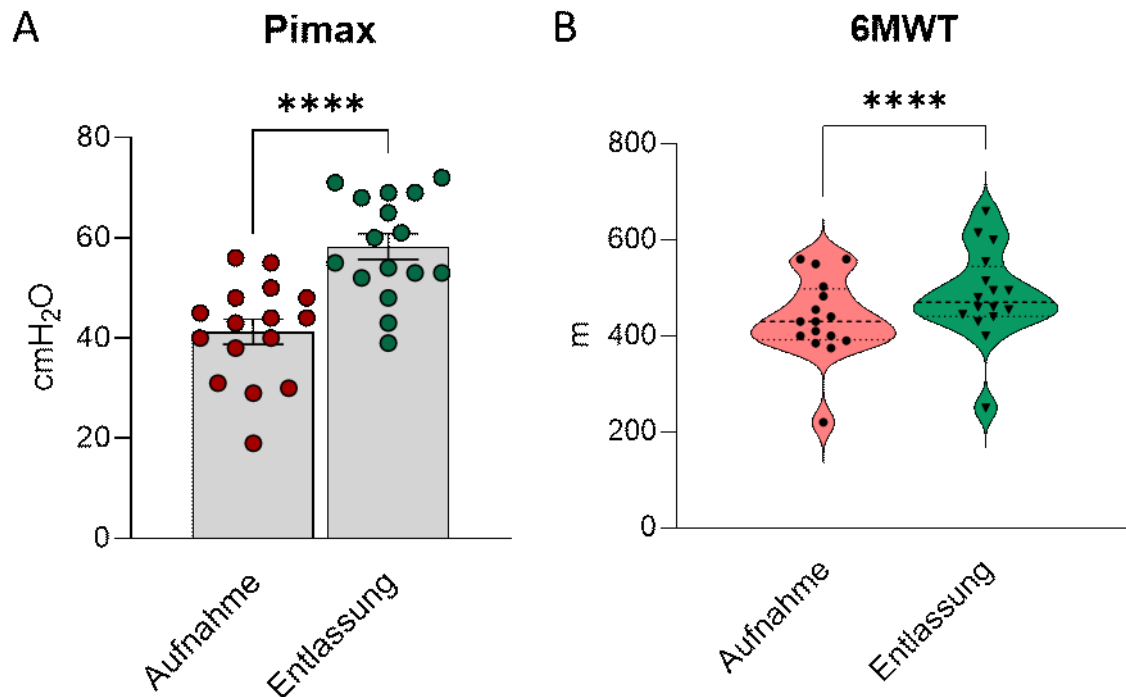


Abbildung 12: Veränderungen im Pimax und 6MWT. Die Zunahme im Pimax ist in Form eines Balkendiagrammes dargestellt; Mittelwert \pm S.E.M (A). Der Violinplot repräsentiert den Vergleich im 6MWT ebenfalls zwischen Aufnahme und Entlassung. In beiden Diagrammen sind zusätzlich die Einzelwerte abgebildet (Symbole). Die statistische Analyse erfolgte über den gepaarten und parametrisch durchgeführten Student's t-Test (GraphPad Prism 9); ****: $p < 0,0001$.

3.3 Korrelation der Effektgröße

Korreliert man die Veränderungen, in Form von Differenzen, zwischen den beiden Testverfahren $P_{i_{max}}$ und 6MWT, so zeigt sich ein schwacher Zusammenhang (Abb. 12). Die Berechnung der Effektstärke als Maß für den standardisierten Mittelwertsunterschied zweier Gruppen wurde entsprechend der Berechnung nach Cohens d durchgeführt. Die Effektgröße für die Verbesserung im $P_{i_{max}}$ innerhalb dieser Erhebung lag bei $|d| = 1,7$. Für den Cohens d gilt, dass er nicht normiert ist. Dementsprechend kann $|d|$ unterschiedliche Werte annehmen wobei als Interpretationshilfe hat Cohen folgende Werte veröffentlicht sind: $< 0,5$ – kleiner Effekt, $0,5 - 0,8$ – mittelgradiger Effekt, $> 0,8$ – großer Effekt. Entsprechend dieser Kategorisierung kann die beobachtete Effektstärke für $P_{i_{max}}$ als „starker“ Effekt eingestuft werden. Der Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-

Momentkorrelation beträgt $r = 0,644$ (zur Berechnung verwendeter link: <https://statistikguru.de/rechner/cohens-d.html>). Für den 6MWT ergaben die Berechnungen einen Cohens d von $|d| = 0,52$ („mittelgradiger“ Effekt) und einem Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation von $r = 0,25$.

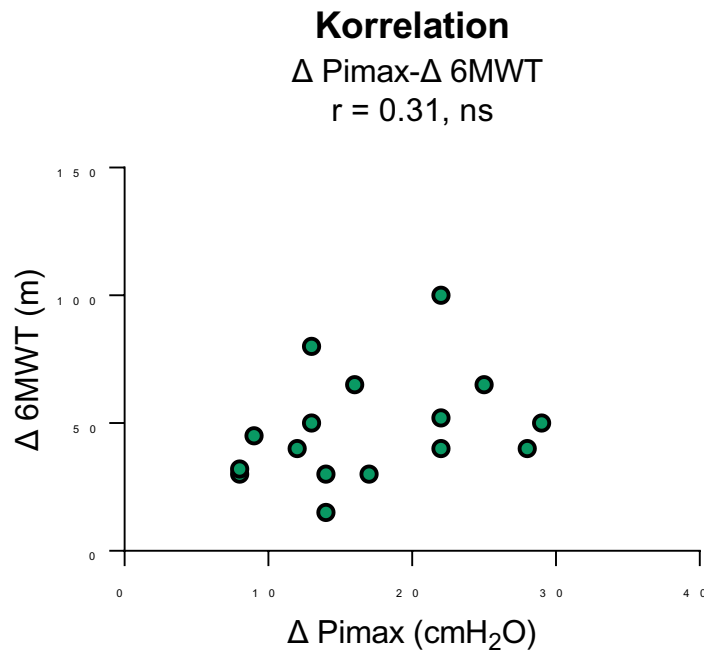


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen P_{imax} und 6 MWT. Die Veränderungen im 6MWT und P_{imax} zwischen Aufnahme und Entlassung wurden miteinander über eine Korrelation nach Pearson in Relation gesetzt. Der Pearson Korrelationskoeffizient (r) ist angegeben.

3.4 Erfassung der Sauerstoffsättigung des Blutes und der Herzfrequenz

Im Zuge der Durchführung des 6MWT wurden die Sauerstoffsättigung des Blutes (SpO_2) und die Herzfrequenz (HF) der Patientinnen und Patienten sowohl bei Aufnahme und Entlassung gemessen. Der Zeitverlauf über 6 Minuten und den einzelnen Messpunkten zu jeder Minute zeigte mit Ausnahme der SpO_2 gleich am Beginn des Tests, keine signifikanten Veränderungen (Abb. 13).

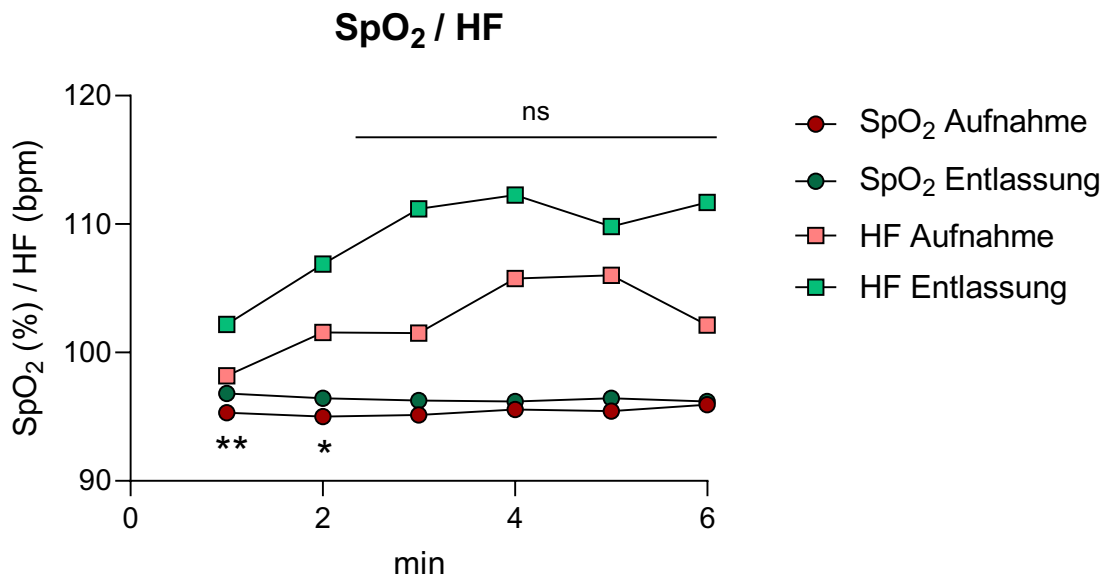


Abbildung 14: Messungen zum Sauerstoffgehalt des Blutes und der Herzfrequenz. Die während des 6MWTs gemessenen Werte (im Mittel) bezüglich der Sauerstoffsättigung im Blut (SpO₂) und der Herzfrequenz (HF) sind im Zeitverlauf dargestellt. Die zum Zeitpunkt 1 min und 2 min gemessenen SpO₂ Werte zeigen einen signifikanten Unterschied; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$ (One way ANOVA, non-parametrisch, Friedman Test).

Vergleicht man den minimal bzw. maximal gemessenen Wert jedes Patienten/jeder Patientin bei Aufnahme zu Entlassung, so zeigen sich im Falle der SpO₂ signifikante Unterschiede für den minimal gemessenen Wert; es kommt zu einer Zunahme der minimal gemessenen Sauerstoffsättigung im Blut (SpO₂) von 93,81 % ($\pm 2,45$) auf 95,63 % ($\pm 1,89$) (Abb. 15A). Im Zusammenhang mit der Herzfrequenz waren keine Veränderungen erkennbar (Abb. 15B).

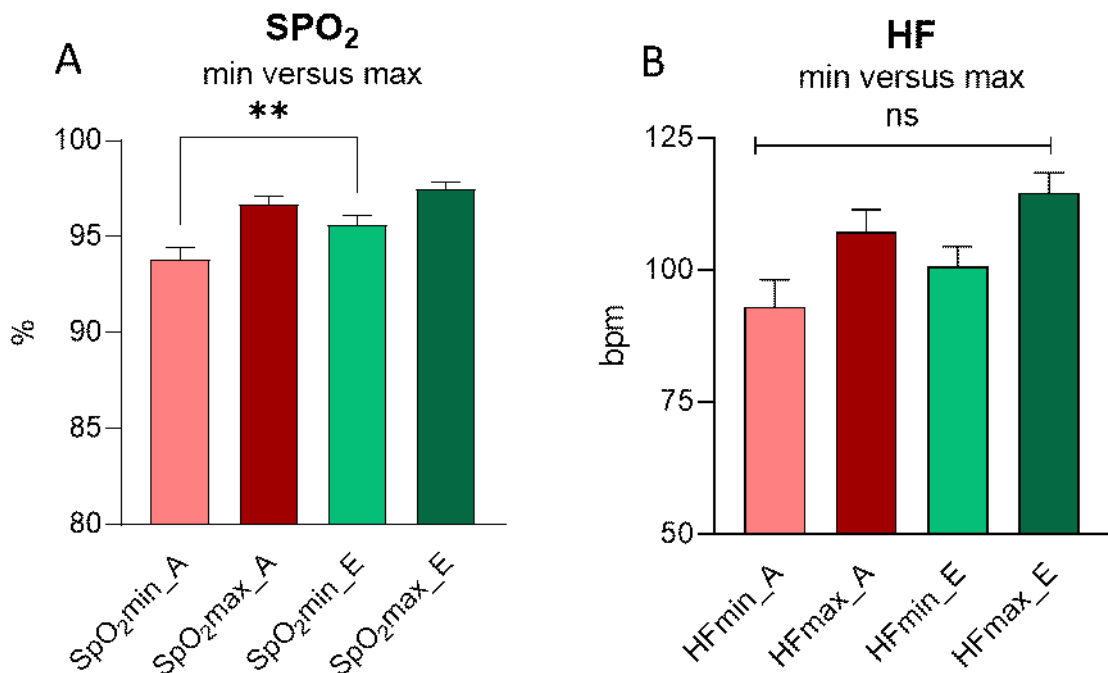


Abbildung 15: Messungen zum Sauerstoffgehalt des Blutes und der Herzfrequenz. Die während des 6MWTs gemessenen minimalen und maximalen Werte bezüglich der Sauerstoffsättigung im Blut (SpO₂) und der Herzfrequenz (HF) sind als Mittelwert (\pm S.E.M) dargestellt. Die Messungen wurden bei Aufnahme (A) und Entlassung (E) durchgeführt. Der statistisch signifikante Unterschied für SpO₂/min wurde gepaart und parametrisch über den Student's t-Test (GraphPad Prism 9) durchgeführt; **: $p < 0,01$.

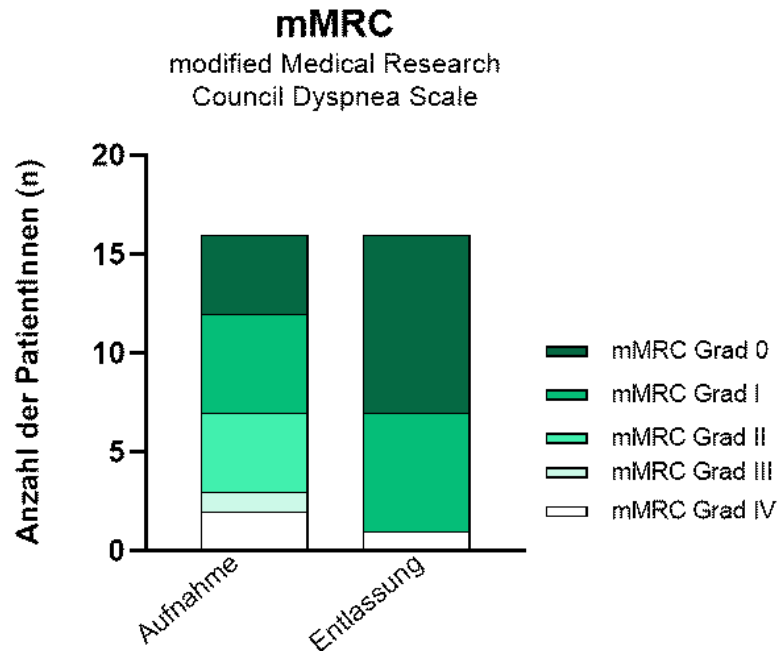
3.5 Verbesserung des subjektiven Gefühls in Bezug auf die Atemleistung und die körperliche Leistungsfähigkeit

Um festzustellen, ob sich durch ein Training der Atemmuskelkraft die Belastungsdyspnoe vermindern und sich damit das subjektive Gefühl in Bezug auf die Atemleistung und die körperliche Leistungsfähigkeit verbessern kann, wurde die subjektive Atemnot mit Hilfe des mMRC-Fragebogens evaluiert.

Die Analyse zeigt, dass sich die Patientinnen und Patienten im Vergleich Aufnahme zu Entlassung in ihrer Beurteilung bzw. Selbsteinschätzung in Bezug auf die Belastungsdyspnoe wesentlich verbessern (Abb. 16A). In der Tabelle unter Abb. 16B ist die Zuteilung der Patientinnen und Patienten zu den einzelnen Kategorien

vor und nach Rehabilitation gelistet; ebenso sind die Anteile der einzelnen Kategorien in Prozent angegeben.

A



B

	Grad 0	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4
Aufnahme (%)	25%	31%	25%	6%	13%
Entlassung (%)	56%	38%	0%	0%	6%
16 Pat=100%					
Aufnahme (n)	4	5	4	1	2
Entlassung (n)	9	6	0	0	1

C

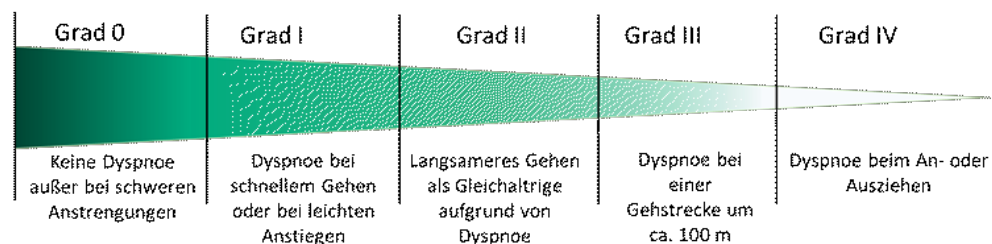


Abbildung 16: Ergebnisse zum "Modified Medical Research Council" (mMRC). Die Zuteilung der Patientinnen und Patienten zu den einzelnen Kategorien vor versus nach Rehabilitation ist dargestellt (A). Unter (B) ist die Anzahl der Patientinnen und Patienten innerhalb der einzelnen Kategorien bei Aufnahme bzw. Entlassung angegeben. Die Beschreibung der Grade ist abgebildet (C).

Der berechnete Mittelwert der Kategorien bei Aufnahme und Entlassung zeigt einen signifikanten Unterschied (Abb. 17A). Die in der Literatur beschriebene Korrelationen zwischen mMRC und $P_{i\max}$ konnte sowohl in Bezug auf die Ausgangswerte bei Aufnahme (Abb. 17B), wie auch im Zusammenhang mit den Entlassungswerten (Abb. 17C) gezeigt werden.

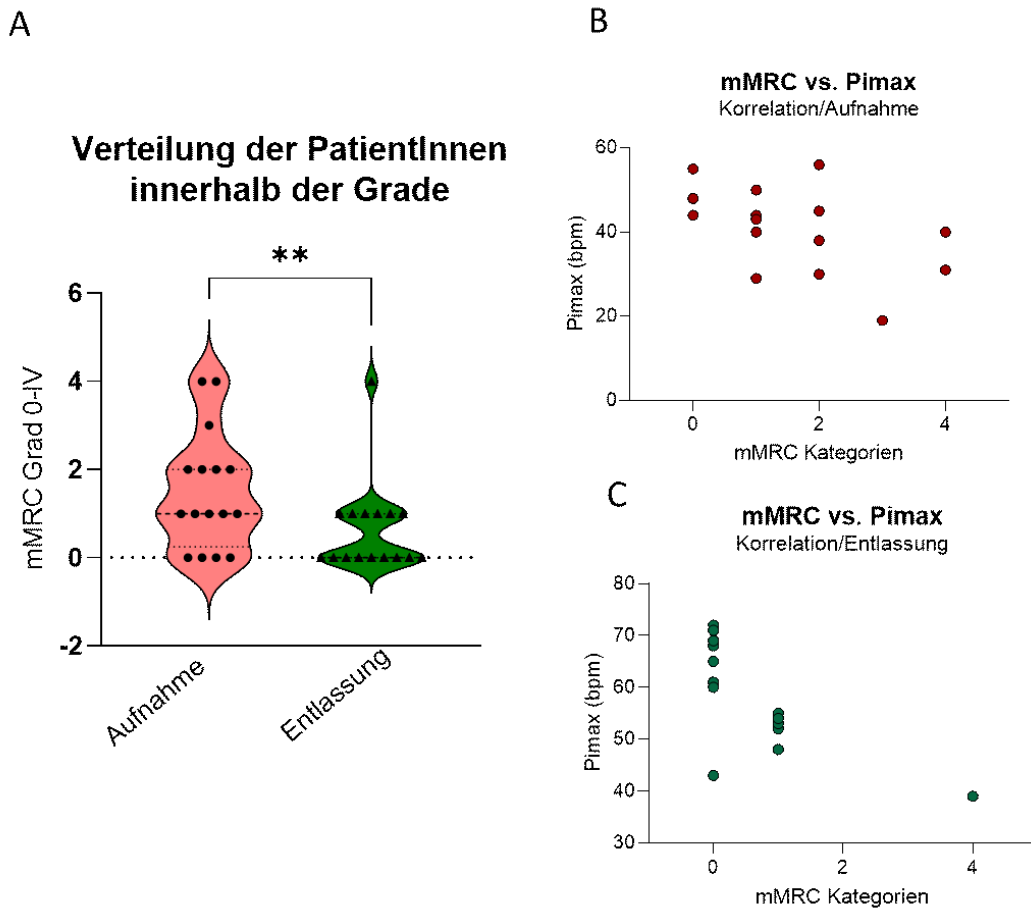


Abbildung 17: Statistische Zusammenhänge des mMRC. Die Verteilung der Patientinnen und Patienten in Bezug auf die im mMRC angeführten Grade ist gezeigt (A). Der Vergleich Aufnahme zu Entlassung zeigt einen statistischen Unterschied von $p < 0,01$ (Wilcoxon matched-pairs signed rank test). Unter (B, C) sind die Korrelationen zwischen $P_{i\max}$ und den mMRC-Kategorien abgebildet; die Berechnung wurde nach Pearson durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient ergab bei Aufnahme bei $r = 0,53$ und bei Entlassung $r = 0,71$.

4. Diskussion

Diese Studie ist unseres Wissens nach die erste Studie, die die Effektgröße von inspiratorischem Atemmuskeltraining nach COVID-19 Erkrankung während einer 3-wöchigen, stationären Lungenrehabilitation mit standardisiertem Therapieprogramm untersucht hat.

4.1 Stärken

Eine Stärke dieser Studie mag trotz des minimalen Patientinnen- und Patientenkollektives im gesamten Spektrum des Schweregrades der COVID-19 Infektion liegen. Es kann durch die erhobenen Daten ein wichtiger Beitrag zu den Nutzen der pneumologischen Rehabilitation beigetragen werden.

Betrachtet man das Patientenkollektiv, lässt sich in dieser kleinen Studienpopulation kein Zusammenhang zwischen Alter, Geschlecht und Schwere der COVID-19 Erkrankung auf die gemessenen Werte erkennen, eine nähere Betrachtung dieses Patientenkollektivs erscheint nicht uninteressant:

Von den Personen mit Spitalsaufenthalt war eine Frau 41 Jahre alt, die beiden Männer 76 und 78 Jahre. Die Patientin, die intensivmedizinisch betreut werden musste, war ebenso wie die Patientin mit ECMO-Therapie, jünger als der Mann mit Aufenthalt auf der ICU. Der Schweregrad der Erkrankung korreliert in dieser Population weder mit dem Alter noch mit dem Geschlecht.

Aus den erhobenen Werten des $P_{i_{max}}$ bei der Aufnahme lassen sich ebenfalls keine Rückschlüsse auf den Krankheitsverlauf ziehen: Sowohl Männer als auch Frauen in Quarantäne hatten ähnlich niedrige Werte wie die Patientinnen und Patienten, die im Spital betreut werden mussten, unabhängig vom Alter.

Auffallend ist, dass die Person, die mit ECMO behandelt werden musste, sowohl bei Aufnahme als auch bei Entlassung im mMRC-Fragebogen beide Male Grad IV

angab, alle anderen Patientinnen und Patienten hatten eine deutliche Verbesserung.

4.2 Limitationen

Als limitierender Faktor dieser Forschungsarbeit kann das Fehlen einer Kontrollgruppe gesehen werden. Im „Mein Peterhof“ erfolgt das inspiratorische Atemmuskeltraining nach COVID-19 nach Erhebung des $P_{i_{max}}$, wenn ein Verdacht auf Schwäche der Atemmuskulatur vorliegt. Die Konsequenz eines zu niedrigen Wertes resultiert in der Zuweisung zum Training. Die in diese Studie eingeschlossene Population repräsentiert einen kleinen Teil der zur Rehabilitation zugewiesenen Patientinnen und Patienten mit einem $P_{i_{max}} \leq 60$ cmH₂O.

Die Intervention wird standardmäßig als Teil des physiotherapeutischen Rehabilitationsprogrammes durchgeführt. Eine Kontrollgruppe, die nicht das komplette, standardisierte Rehabilitationsprogramm des „Mein Peterhof“ absolviert, ist nicht darstellbar gewesen. Aus diesem Grund erfolgte diese Studie retrospektiv. Weiters beschränkt sich diese Forschungsarbeit nur auf die Zuweisung zu pneumologischer Rehabilitation, Schlüsse auf kardiologische, neurologische oder psychische Rehabilitation können aus diese Forschungsarbeit nicht gezogen werden.

Die Verwendung zweier verschiedener Trainingsgeräte kann ebenso als limitierender Faktor gesehen werden. Dies ergibt sich aus der täglichen Praxis und der Arbeit mit Patientinnen und Patienten: Die Auswahl des Gerätes erfolgt nach kognitiven und sprachlichen Fähigkeiten, aber auch nach der Notwendigkeit und der Bereitschaft zu weiterem Training nach dem Aufenthalt im Rehabilitationszentrum.

Der 6MWT wurde nicht mehrmals durchgeführt, sondern nur bei Aufnahme und am Ende der Rehabilitation.

4.3 Ergebnisse

Es lässt sich nun die primäre Fragestellung dieser Arbeit mit der Hypothese H1 - Verbesserung der maximalen Einatemkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit eindeutig beantworten:

Die signifikante Verbesserung um 41% und deren hohe Effektgröße des Vergleichs $P_{i_{max}}$ bei Aufnahme versus $P_{i_{max}}$ bei Entlassung und die Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit der Zunahme der Gehstrecke um 11,1% der vorgelegten Studie zeigt, dass auch nach COVID-19 eine Verbesserung der Atemmuskulatur möglich ist und somit das Training als eine wichtige therapeutische Indikation angesehen werden kann. Der signifikante Unterschied der SpO_2 zwischen Aufnahme und Entlassung und damit verbunden die Reduktion der Dyspnoe konnte ebenso gezeigt werden.

Die Hypothese H0 - keine Verbesserung oder Verschlechterung - ist somit nichtzutreffend.

Dyspnoe ist das Leitsymptom der pneumologischen Symptome nach COVID-19 Erkrankung. Das Training der inspiratorischen Atemmuskulatur ist eine wichtige therapeutische Maßnahme in der Rehabilitation bei pneumologischen Erkrankungen. Die Berechnung der Effektgröße von inspiratorischem Atemmuskulaturtraining auf die Atemmuskulaturkraft und die Belastungsdyspnoe ist jedoch neu.

Die Datenlage zu Veränderungen des $P_{i_{max}}$ nach COVID-19 ist gering. Iwakura et al 2020 [32] zeigen in ihrer Studie eine Verbesserung des $P_{i_{max}}$ bei Patientinnen und Patienten mit COPD einen $p < 0,001$. Dieser Wert konnte in dieser Forschungsarbeit ebenfalls mit $p < 0,0001$ berechnet werden.

Die Minimal Clinical Important Difference MCID wird mit einer Veränderung des $P_{i_{max}}$ von 17,2 – 17,6 cm H₂O angegeben, der Wert der vorliegenden Studie mit 17,0 kann jedoch durch eine Steigerung von 41% von Aufnahme zu Entlassung als signifikant erachtet werden.

Die Neuigkeit besteht nun im Vergleich zu chronischen Erkrankungen der Atemwege darin, dass die meisten Patientinnen und Patienten vor der COVID-19 Infektion völlig gesund waren und kaum Probleme mit der Atmung hatten. Atmung wurde nicht bewusst oder als normal empfunden, Atemnot kannten die meisten nicht, schweres Atmen wurde nur bei sportlicher Betätigung und hierbei als üblich wahrgenommen. Die Auseinandersetzung mit dem Thema Atmung war ein komplett neuer Aspekt, ebenso die Tatsache, nach einer Infektion plötzlich den Anforderungen des Alltags nicht mehr gerecht werden zu können.

Das Bewusstmachen von Defiziten, die Schulung einer korrekten Atemtechnik und das Verstehen der Notwendigkeit eines Trainings zur Kräftigung des Zwerchfells erschien vielen Patientinnen und Patienten nicht im Zusammenhang. Die Aufklärung über weiteres erforderliches Training zur Verbesserung und Erhalt der Leistungsfähigkeit nach dem Rehabilitationsaufenthalt ist dabei ein wichtiger Aspekt der physiotherapeutischen Arbeit. In der Rehabilitation kann inspiratorisches Atemmuskeltraining somit als initiative Behandlung gesehen werden.

Natürlich ist davon auszugehen, dass nicht nur das Atemmuskeltraining allein die Verbesserung der Leistungsfähigkeit ausmacht, der gesamte Rehabilitationsaufenthalt mit den inkludierten Therapien und allen anderen Maßnahmen bringen Erfolg für die Patientinnen und Patienten. Funktionelles Training, Ausdauertraining mit Nordic Walking und Medizinische Trainingstherapie tragen einen Großteil zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit bei. Auch hier, wie schon oben beschrieben, sind die physiotherapeutischen Maßnahmen individuell an die Anforderungen im Alltag, an die Berufstätigkeit und an sportliche Leistungsfähigkeit sind bei Patientinnen und Patienten nach COVID-19 anzupassen.

In der Literatur wird die MCID im 6MWT bei Patientinnen und Patienten mit chronischen Erkrankungen der Atemwege mit 30 m angegeben [33]. In der vorliegenden Arbeit konnte eine deutliche Verbesserung der Gehstrecke des 6MWT um 47,8 m bzw. 11,1% weit über der MCID erreicht werden. Dieses Ergebnis liegt im Bereich der Erhebung von Gloeckl et al 2021 aus Deutschland, die eine Verbesserung um 48 m erreichen konnten [34].

Der zeitliche Rahmen der stationären pneumologischen Rehabilitation ist mit 3 Wochen festgelegt. Patientinnen und Patienten müssen für diese Zeit auf Ihr häusliches Umfeld verzichten, sich komplett neu orientieren und ein vorgegebenes Programm von Untersuchungen, Therapien und Schulungen absolvieren. Zu diesen Umstellungen kommen die körperlichen Strapazen noch dazu.

Auf Grund der ausgewerteten Daten ist nun ersichtlich, dass es zu signifikanten Verbesserungen kommen kann. Die Leistungsfähigkeit gemessen am 6MWT zeigt nun, dass auch bei COVID-19 PatientInnen ein deutlicher Aufbau möglich ist.

Der 6MWT als funktioneller Belastungstest zur Evaluation eines Behandlungseffektes ist valide und verlässlich und gilt als sensibler für einen SpO₂-Abfall als die Ergometrie [33].

Überraschend ist die Tatsache, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den minimal gemessenen Werten des SpO₂ zwischen Aufnahme und Entlassung zu erkennen ist, wenn man die Ausgangswerte betrachtet. Alle in diese Studie eingeschlossenen Patientinnen und Patienten hatten bei der Aufnahme während des 6MWT schon einen Minimalwert von >92%, bei der Entlassung > 95%.

Bezogen auf die restriktive Symptomatik nach COVID-19 Infektion und deren Auswirkung auf die Atemfrequenz und das Atemmuster konnte während des Aufenthaltes in der stationären Rehabilitation der Minimalwert deutlich von 93,81% auf 95,63% gesteigert werden. Es lässt sich die subjektiv empfundene Dyspnoe in dieser Analyse also nicht an den Werten der SpO₂ zeigen. Welche Komponenten zu dieser deutlichen Verbesserung beitragen, lässt sich aus dieser Analyse nicht erkennen.

Ein unterschiedliches Bild zeigt sich in der Analyse der Werte der HF: In der Gegenüberstellung der erhobenen Werte zwischen Aufnahme und Entlassung waren keine Veränderungen erkennbar.

Betrachtet man die einzelnen Ergebnisse, dann zeigt sich bei einigen der in die Studie eingeschlossenen PatientInnen zeigt sich eine Erhöhung der HF zwischen

erstem und zweitem 6MWT, bei anderen wiederum ist die HF beim zweiten Test im Vergleich zum ersten Test reduziert.

Es gilt zu bedenken, dass der 6MWT ein funktioneller Test zur Bestimmung der Ausdauerleistung ist, bei der die Patientinnen und Patienten das Tempo selbst wählen können [27]. Im Vergleich zu Belastungstests spielt hierbei die Selbsteinschätzung der Patientinnen und Patienten eine große Rolle. Es stellt sich die Frage, ob die Selbsteinschätzung und die Bereitschaft nach 3 Wochen körperlichem Kraft- und Ausdauertraining zu größerer, körperlicher Anstrengung erhöht ist. Das würde die höhere HF bei einigen der Patientinnen und Patienten erklären.

Ein Aspekt der reduzierten HF bei einigen der Patientinnen und Patienten könnte bereits die Auswirkung nach 3 Wochen Kraft – und Ausdauertraining sein. Ein nicht unwichtiger Faktor während eines funktionellen Tests mag in der psychischen Situation der Patientinnen und Patienten liegen: Unter Einhaltung aller Richtlinien zur Ausführung des 6MWT darf Nervosität vor einem Test oder auch Angst vor körperlicher Anstrengung und Dyspnoe nicht außer Acht gelassen werden. Daten über diese Faktoren wurden in dieser Studie nicht erhoben und würden einer weiteren Untersuchung bedürfen.

Die Einschränkung im täglichen Leben durch eine Erkrankung respektive die Verbesserung oder den Therapieerfolg nach Behandlungen ist für die Patientinnen und Patienten von großer Bedeutung. Die messbaren Veränderungen, auch wenn sie statistisch signifikant sind, müssen hingegen nicht unbedingt wahrnehmbar sein, wichtig ist die die Verbesserung ihres Gesundheitszustandes. Das Ausmaß der Atemnot in ihrem Alltag ist somit für die Patientinnen und Patienten ein relevantes Ergebnis. Dyspnoe-Scores zeigen unabhängig von physischen Funktionstests einen unabhängigen Erfolgsparameter [35].

Die Auswertung des mMRC-Fragebogens zeigt eine signifikante Verbesserung der subjektiv empfundenen Dyspnoe zwischen Aufnahme zur Rehabilitation und Entlassung: Bei Aufnahme waren die Angaben der Patientinnen und Patienten über alle Kategorien der Skala verteilt, bei Entlassung gab es keinen Wert in den

Kategorien Grad II und Grad III. In einem Fall zeigte sich keine Verbesserung der Dyspnoe, erstaunlicherweise bleibt dieser Wert auch bei Entlassung bei Grad IV, bei allen anderen Patientinnen und Patienten lag der Wert bei Entlassung nur mehr zwischen den Graden 0 und I.

Dies bedeutet, dass die Patientinnen und Patienten nach der Definition der mMRC-Skala Atemnot nur mehr bei schwerer, körperlicher Anstrengung oder beim schnellen Gehen oder leichten Anstiegen empfinden. Somit sind Alltagstätigkeiten wie Gehen (länger als 100 m) oder das Anziehen, beides wichtige ADL, nicht mehr mit Atemnot verbunden. Die Korrelation zwischen mMRC und $P_{i_{max}}$ konnte ebenso gezeigt werden. Gloeckl et al konnten in ihrer prospektiven Studie aus 2021 keine Verbesserung im mMRC nachweisen, es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass das physiotherapeutische Spektrum dieser Studie nicht explizit auf inspiratorisches Atemmuskeltraining zielt [34]. In diesem Zusammenhang darf von einem Erfolg der Rehabilitation gesprochen werden, wenn dieses Ziel erreicht wurde.

4.4 Conclusio

Diese Pilotstudie zeigt, dass davon ausgegangen werden kann, dass jenes im Rehabilitationssetting implementierte Atemmuskeltraining wesentlich zur Verbesserung der Atemmuskelkraft, Leistungsfähigkeit und Dyspnoe bei Post-COVID Patientinnen und Patienten beitragen kann. Die über diesen Prüfansatz gewonnenen Daten legen den Grundstein für eine mögliche größer anzulegende Studie im Vergleich mit Post-COVID Patientinnen und Patienten ohne Atemmuskeltraining. Trotz des kleinen Patientinnen und Patienten Kollektivs konnte ein positiver Outcome des Rehabilitationsprogrammes inklusive Atemmuskeltrainings von Post COVID Patientinnen und Patienten am „Mein Peterhof“ klar dargestellt werden.

5. Literatur

1. WHO., World Health Organization, Coronavirus disease, COVID-19.[Internet]. [zitiert am 22.07.2022]. Verfügbar unter:
https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1
2. Feldt T. et al. Hinweise zu Erkennung, Diagnostik und Therapie von Patienten mit COVID-19. [Internet] 6 April 2022 [zitiert am 16.07.2022]. Verfügbar unter:
https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Stakob/Stellungnahmen/Stellungnahme-Covid-19_Therapie_Diagnose.pdf?blob=publicationFile
3. Rabady S. et al. Leitlinie S1: Long COVID: Differenzialdiagnostik und Behandlungsstrategien. Wien Klin Wochenschr, 133(Suppl 7):237-27
4. Nalbandian et al. Post-acute COVID-19 syndrome. Nat.Med.2021; 27(4): 601-615
5. Hinghofer-Szalkay H. Eine Reise durch die Physiologie.[Internet]. [zitiert am 25.08.2022]. Verfügbar unter: [www. physiologie.cc](http://www.physiologie.cc)
6. Koczulla A.R. et al. S1-Leitlinie Post-COVID/Long-COVID. Pneumologie 2021; 75(11): 869-900 [Internet]. 2021. [zitiert am 17.08.2022]. Verfügbar unter:
https://nam12.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.awmf.org%2Fuploads%2Ftx_sleitlinien%2F020-027I_S1_Post_COVID_Long_COVID_2022-08.pdf&data=05%7C01%7C%7Ce539e079565e4ff8be9708da99a086e7%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637991211971065672%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljojMC4wLjAwMDAiLCJQljojV2luMzliLCJBTil6lk1haWwiLCJXVCi6Mn0%3D%7C3000%7C%7C%7

7. Laier-Groneveld G., Criece C.-P. Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie der Atempumpe. Pneumologie (Berl).2021; 18(1): 3-12
8. Merz P. et al. Physiotherapie in der inneren Medizin, Georg Thieme Verlag 2022. S. 22-24, 84, 211-212
9. Kabitz H.-J. et al. Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga zur Messung der Atemmuskelfunktion. Pneumologie 2014;68(05):307-314
10. Mayrhofer S., Krenek B. Fallbuch Physiotherapie: Innere Medizin mit Schwerpunkt Kardiologie/Pulmologie. Elsevier Deutschland 2017. S. 63-64, 72
11. Österreichische Gesellschaft für Pneumologie. Spirometrie; 2.Auflage 2019. S. 46
12. Göhl et al. Atemmuskeltraining: State-of-the-Art. Pneumologie 2016, 70(01):37-48
13. Krenek B. et al. Leitlinie Physiotherapie für Post-COVID-19-PatientInnen sowie zur Prävention einer COVID-19 induzierten Pneumonie bei gefährdeten Personengruppen[Internet] 2020 [zitiert am 09.05.2022]. Verfügbar unter:
https://www.physioaustria.at/system/files/general/leitlinie_covid_fin.pdf
14. Gosselink R. et al. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? Eur Respir J. (2011 Feb);37(2):416-25
15. Schultz K. et al. Pneumologische Rehabilitation. Dustri-Verlag 2019. S. 495-504, 597-602, 333-346,

16. Motiejunaite J. et al. Hyperventilation as one of the mechanisms of persistent dyspnoea in SARS-CoV-2 survivors. Eur Respir J 2021; 58: 2101578
17. Hayden M. et al. Effectiveness of a Three-Week Inpatient Pulmonary Rehabilitation Program for Patients after COVID-19: A Prospective Observational Study. Int J Environ Res Public Health 2021. 18 (17):9001
18. Arbeitskreis Pneumologische Rehabilitation und Rauchertherapie. Pneumologische Rehabilitation. Pocket Card „Rehabilitation“. 1. Auflage[Internet] 2021. [zitiert am 09.08.2022]. Verfügbar unter: https://nam12.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.ogp.at%2Fwp_ogp%2Fwp-content%2Fuploads%2FREHA_PocketCard_digital_IC.pdf&data=05%7C01%7C%7Cc7d387d9edb248b1ae9f08da99a52e80%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637991232013820204%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWIjoiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzliLCJBTiI6I k1haWwiLCJXVCI6Mn0%3D%7C3000%7C%7C%7C&sdata=4UkTprz gMxITWPI5fi9M2WUQig8D6LKUJkcHCvuStFI%3D&reserved=0
19. Medizinische Rehabilitation und Gesundheitsvorsorge.[Internet]. [zitiert am 05.05.2022]. Verfügbar unter: www.pv.at
20. Vonbank K. et al. Richtlinien für die ambulante pneumologische Rehabilitation in Österreich. Wien Klin Wochenschr 2015, 127(13-14):503-513
21. Reiter D. Rehabilitationsplan. Gesundheit Österreich, Wien. [Internet]. 2020. [zitiert am 15.08.2022]. Verfügbar unter: <https://nam12.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.sozialversicherung.at%2Fcdscontent%2Fload%3Fcontentid%3D10008.742311%26version%3D1611835415&data=05%7C01%7C%7C546636>

[ad18e4477d644008da99a4fad2%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637991231097353698%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWIjoiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzliLCJBTiI6Ij1haWwiLCJXVCI6Mn0%3D%7C3000%7C%7C%7C&sdata=f17QwJf1%2F4C9kyUo4OGmTiaCA9TLd%2FUqQz0OLk4EuWs%3D&reserved=0](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35000000)

22. Zwick R. H. Ambulante Pneumologische Rehabilitation: Pneumologie 2022; 19:150–157
23. Puchner B. et al. Beneficial effects of multi-disciplinary rehabilitation in postacute COVID-19: an observational cohort study. Eur J Phys Rehabil Med 2021;57:189-98
24. Büsching G. et al. Effectiveness of Pulmonary Rehabilitation in Severe and Critically Ill COVID-19 Patients: A Controlled Study. Int J Environ Res Public Health 2021, 18(17):8956
25. Gogoll C. Eine Leitlinie "Long-/Post-COVID-Syndrom" für Betroffene, Angehörige, nahestehende und pflegende Personen, die sich auf eine ärztliche Leitlinie stützt („S1-Leitlinie Long-/Post-COVID“ der AWMF; Registernummer 020 – 027). [Internet] 2021. [zitiert am 12.05.2022]. Verfügbar unter: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/020-027p_S1_Post_COVID_Long_COVID_2021-12.pdf
26. Glöckl R. et al. DGP-Empfehlungen zur pneumologischen Rehabilitation bei COVID-19. Pneumologie. 2020. 74(8):496-504
27. American Thoracic Society, ATS Statement: Guidelines for the Six-Minute Walk Test. Am J Respir Crit Care Med, 2002, 166, 111-117
28. Chan E.D. et al. Pulse Oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. Respir Med. 2013 Jun;107(6):789-799

29. Des Jardins T. Clinical Manifestations & Assessment of Respiratory Disease. Eighth Edition. Mosby-Verlag 2019, 34-36
30. Büsching G. Wenn die Luft wegbleibt. *physiopraxis* 2009; 7(2): 40-41
31. Bestall J. et al. Usefulness of the Medical Research Council (MRC) dyspnoea scale as a measure of disability in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1999;54:581-586
32. Iwakura M. et al. Estimation of minimal clinically important difference for quadriceps and inspiratory muscle strength in older outpatients with chronic obstructive pulmonary disease: a prospective cohort study. *Phys Ther Res.* Oktober 2020. 12;24(1):35-42
33. Holland A.E. et al. An official european respiratory society/ American thoracic society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Resoir J* 2014; 44: 1428-1446
34. Gloeckl R. et al. Benefits of pulmonary rehabilitation in COVID-19: a prospective observational cohort study. *ERJ Open Res* 2021; 7: 00108-2021
35. Gillissen A. et al. Studienpunkte bei der chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung (COPD): „Minimal clinically important difference“. *Pneumologie* 2008; 62: 1149-157

6. Anhang

6.1 Tabelle 3

6.2 Tabelle 4

6.3 6min Gehstest

6.4 mMRC Dyspnoeskala Fragebogen

6.5 Case Report Form

6.1

Patienten Nummer	Geschlecht	Alter	P _i _{max} Aufnahme	P _i _{max} Entlassung	6MWT Aufnahme	6MWT Entlassung
1	w	36	29	43	385	400
2	w	50	50	72	560	600
3	m	60	19	48	390	440
4	m	67	56	69	375	455
5	m	69	30	52	503	555
6	w	56	48	61	410	460
7	w	41	31	39	220	250
8	w	51	45	53	483	515
9	m	78	38	55	430	460
10	w	48	40	68	440	480
11	w	50	44	69	430	495
12	m	44	55	71	550	615
13	m	52	43	65	560	660
14	w	73	40	54	400	430
15	w	77	44	53	400	445
16	m	76	48	60	435	495

Tabelle 3: Erhobene Werte P_i_{max} in cmH₂O und 6MWT in m im Vergleich vorher zu nachher.

6.2

Patienten Nummer	Geschlecht	Alter	mMRC Aufnahme	mMRC Entlassung
1	w	36	I	0
2	w	50	I	0
3	m	60	III	I
4	m	67	II	0
5	m	69	II	I
6	w	56	0	0
7	w	41	IV	IV
8	w	51	II	I
9	m	78	II	I
10	w	48	I	0
11	w	50	I	0
12	m	44	0	0
13	m	52	I	0
14	w	73	IV	I
15	w	77	0	I
16	m	76	0	0

Tabelle 4: Darstellung der ermittelten mMRC Werte in Grad 0 bis IV

6 Minuten-Gehtest

Patient:

Alter:

Zuweisender Arzt:

Größe:

Physiotherapeut:

Gewicht:

Datum:

Vor dem Test: (5 Minuten vor Messung ruhig sitzen und nicht reden)

	Erstbefund	Endbefund
SaO2		
HF		
Skala Dyspnoe		
Skala Beine		

0 = überhaupt keine Atemnot
 0,5 = sehr, sehr milde
 1 = sehr milde
 2 = milde
 3 = mäßig
 4 = recht schwer
 5 = schwer
 6
 7 = sehr schwer
 8
 9 = sehr, sehr schwer
 10 = maximale Atemnot

Befindlichkeit während des Tests:

	Erstbefund			Endbefund		
	SaO2	HF	Strecke	SaO2	HF	Strecke
1 Minute						
2 Minuten						
3 Minuten						
4 Minuten						
5 Minuten						
6 Minuten						

Zurückgelegte Strecke: Erstbefund _____ Meter

Endbefund _____ Meter

Gehdauer: Erstbefund _____ min _____ sek

Endbefund _____ min _____ sek

Verwendung von Hilfsmittel Nein Ja

Abgabe von O2 Nein Ja

Nach 6 Minuten Gehen:

	Erstbefund	Endbefund
SaO2		
HF		
Skala Dyspnoe		
Skala Beine		

Respifit:

	Beginn	Ende
Kraft		
Ausdauer		

Normwert _____

Vorhersageformel: $218 + (5,14 \times \text{Größe [cm]} - 5,32 \times \text{Alter [Jahre]}) - (1,8 \times \text{Gewicht [kg]} + 51,31 \times \text{Geschlecht})$ (Frauen: 0 / Männer: 1)

6.3: Formular: 6 Minuten-Gehtest

Österreichische Gesundheitskasse
Peterhof Baden
Sauerhofstraße 9-15
2500 Baden

Datum: _____

Name: _____

VSNr.: _____

mMRC - Dyspnoeskala

Einteilung der Luftnot des Modified British Medical Research Council

Aufnahme

Grad 0	Keine Dyspnoe, außer bei schweren Anstrengungen.
Grad I	Dyspnoe bei schnellem Gehen oder bei leichten Anstiegen.
Grad II	Langsameres Gehen als Gleichaltrige aufgrund von Dyspnoe.
Grad III	Dyspnoe bei Gehstrecke um ca. 100 m.
Grad IV	Dyspnoe beim An- und Ausziehen.

6.4: Formular: mMRC – Dyspnoeskala Fragebogen

Welchen Einfluss hat gerätegestütztes, inspiratorisches Atemmuskeltraining im Rahmen der pulmonologischen, physiotherapeutischen Rehabilitation nach COVID-19 auf die maximale inspiratorische Atemmuskelkraft und die Belastungsdyspnoe?

Eine retrospektive Pilotstudie zur Bestimmung der Effektgröße



VerfasserIn:

Michaela Schöfer, PT, ULG kardiorespiratorische Physiotherapie an der MEDUni Graz

Studienbetreuung:

Priv. Doz. Mag. Bibiane Steinecker-Frohnwieser
Univ.-Prof. Dr. Mag. Tanja Stamm, PhD, MSc, MBA

AUFNAHME

Datum: _____

Patienten-Nr.

ID-Nr./KG-Nr.:

Geburtsdatum: (TT/MM/JJ)

Geschlecht: m w

COVID-19:

Diagnose der COVID-19 Infektion: Datum: _____

Rehabilitation „Mein Peterhof“: Datum: _____

Pimax Messung wurde durchgeführt: ja nein

Aufnahme: Datum: _____ Wert: _____ cmH₂O

Entlassung: Datum: _____ Wert: _____ cmH₂O

Fragebogen mMRC wurde ausgefüllt: ja nein

Aufnahme: Datum: _____ Wert: Grad _____

Entlassung: Datum: _____ Wert: Grad _____

6MWT wurde durchgeführt: ja nein

Aufnahme: Datum: _____ Strecke: _____ m

SpO2: _____ %
Min 1: _____ %
Min 2: _____ %
Min 3: _____ %
Min 4: _____ %
Min 5: _____ %
Min 6: _____ %

HF: _____ bpm
Min 1: _____ bpm
Min 2: _____ bpm
Min 3: _____ bpm
Min 4: _____ bpm
Min 5: _____ bpm
Min 6: _____ bpm

Entlassung: Datum: _____ Strecke: _____ m

SpO2: _____ %
Min 1: _____ %
Min 2: _____ %
Min 3: _____ %
Min 4: _____ %
Min 5: _____ %
Min 6: _____ %

HF: _____ bpm
Min 1: _____ bpm
Min 2: _____ bpm
Min 3: _____ bpm
Min 4: _____ bpm
Min 5: _____ bpm
Min 6: _____ bpm

Komorbiditäten:

- COPD und andere chronische Lungenerkrankungen
- Diabetes mellitus
- Niereninsuffizienz
- Neurologische Erkrankung
- Zentrale und neuromuskuläre Atemstörungen/Atemwegserkrankungen

6.5 Case Report Form/ Erhebungsbogen