

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Auswirkungen von COVID-19 auf die Lungenfunktion bei sportlich aktiven
Erwachsenen im Quer- und Längsschnitt

verfasst von | submitted by

Philipp Schmid BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree pro-
gramme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Ass.-Prof. Dr. Rhoia Clara Neidenbach BSc. M.Sc.

Danksagung

Ich bedanke mich bei meiner Betreuerin Ass.-Prof. Dr. Rhoia Clara Neidenbach BSc. M.Sc. für die umfassende Unterstützung und Begleitung während des gesamten Arbeitsprozesses. Besonderer Dank gilt auch Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag für die fachliche Expertise sowie der Organisation der zugrunde liegenden Studie. Zudem möchte ich mich herzlich bei dem gesamten Studienteam, insbesondere Dr. Med. Theresa Hofbauer und Christian Haumer, M.Sc., für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen sowie der Datenerhebung bedanken.

Zudem danke ich meiner Familie sowie meinen Freund*innen für ihren wertvollen Rückhalt.

Abstract

Hintergrund: Auch nach milden Verläufen kann eine COVID-19-Erkrankung zu anhaltenden Einschränkungen der Lungenfunktion führen. Bislang ist unklar, inwieweit sportlich aktive Erwachsene von solchen funktionellen Veränderungen betroffen sind und wie sich diese im zeitlichen Verlauf entwickeln. Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen von COVID-19 auf die Lungenfunktion sportlich aktiver Erwachsener im Quer- und Längsschnitt zu analysieren sowie potenzielle Einflussfaktoren, wie das Ausmaß körperlicher Aktivität, den Raucherstatus und anthropometrische Faktoren, differenziert zu bewerten.

Methodik: Es wurden 53 sportlich aktive Erwachsene (37% weiblich) zu zwei Testterminen zwei und sechs Monate nach der Erkrankung am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Wien mittels Bodyplethysmographie und Diffusionsmessung untersucht. Die Ergebnisse wurden mit GLI-2012-Normwerten verglichen. Funktionelle Veränderungen im Längsschnitt sowie Zusammenhänge mit potenziellen Einflussfaktoren wurden analysiert.

Resultate: Zu beiden Zeitpunkten zeigen sich signifikante Einschränkungen der kleinen Atemwege (MEF25, MEF50, MEF25–75) sowie erhöhte Atemwegswiderstände (RAW, sRAW). Der Transferfaktor der Lunge von Kohlenmonoxid (TLCO) ist zu T1 unauffällig, zu T2 jedoch signifikant vermindert. Im zeitlichen Verlauf können keine signifikanten Verbesserungen der Lungenfunktion festgestellt werden. Die TLCO verschlechtert sich signifikant. Das Ausmaß der körperlichen Aktivität steht in signifikant positivem Zusammenhang mit zentralen Lungenfunktionsparametern.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse zeigen, dass sportlich aktive Erwachsene zwei und sechs Monate nach einer COVID-19-Erkrankung funktionelle Einschränkungen der Lunge aufweisen können. Eine vollständige Erholung der Lungenfunktion kann im untersuchten Zeitraum nicht festgestellt werden. Körperliche Aktivität scheint dabei einen schützenden Einfluss zu haben. Die Ergebnisse unterstreichen die Relevanz einer differenzierten Nachsorge auch bei sportlich aktiven Personen.

Abstract (Englisch)

Background: Even after mild cases, COVID-19 can lead to persistent impairments in pulmonary function. It remains unclear to what extent physically active adults are affected and how these functional changes develop over time. This study aimed to analyze the effects of COVID-19 on lung function in physically active adults, both cross-sectionally and longitudinally, and to assess potential influencing factors such as physical activity level, smoking status, and anthropometric characteristics.

Methods: A total of 53 physically active adults (37% female) were examined at two time points two and six months after infection at the Institute of Sport Science, University of Vienna. Lung function was assessed using body plethysmography and diffusion capacity testing. Results were compared with GLI-2012 reference values. Longitudinal changes and associations with influencing factors were analyzed statistically.

Results: At both time points, significant impairments in small airway function (MEF25, MEF50, MEF25–75) and increased airway resistance (RAW, sRAW) were observed. The transfer factor for carbon monoxide (TLCO) was normal at T1 but significantly reduced at T2. No significant improvements in lung function were found over time. TLCO declined significantly. Physical activity showed a significant positive correlation with key pulmonary function parameters.

Conclusion: Physically active adults may exhibit persistent functional impairments of the lungs two and six months after COVID-19 infection. Full recovery was not observed within the study period. Physical activity appears to have a protective effect. These findings emphasize the importance of differentiated follow-up even in physically active individuals.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund.....	1
1.1	Pathophysiologie und Risikofaktoren von COVID-19.....	1
1.2	Bedeutung der körperlichen Aktivität im Zusammenhang mit COVID-19	4
1.3	Pulmonale Auswirkungen von COVID-19	6
2	Forschungsfrage und Hypothesen	8
3	Methodik.....	9
3.1	Studienkollektiv.....	9
3.2	Studienablauf.....	10
3.3	Untersuchungsmethoden	11
3.3.1	Die forcierte Spirometrie	12
3.3.2	Die Bodyplethysmographie	15
3.3.2.1	Durchführung des TGV-Tests	15
3.3.2.2	Messung des Atemwegswiderstands	16
3.3.3	Messung der Diffusionskapazität	17
3.4	Klassifizierung der Schwere einer COVID-19-Erkrankung.....	18
3.5	Statistische Analyse	19
4	Ergebnisse.....	22
4.1	Studienkollektiv.....	22
4.2	Auswertung der Schwere der Erkrankung.....	24
4.3	Lungenfunktionsparameter zum ersten Testzeitpunkt	25
4.3.1	Ergebnisse der forcierten Spirometrie	25
4.3.2	Ergebnisse der Lungenvolumina	26
4.3.3	Ergebnisse des Atemwegswiderstands und der Diffusionskapazität	26
4.4	Lungenfunktionsparameter zum zweiten Testzeitpunkt	28
4.4.1	Ergebnisse der forcierten Spirometrie	28
4.4.2	Ergebnisse der Lungenvolumina	28

4.4.3	Ergebnisse des Atemwegswiderstands und der Diffusionskapazität.....	29
4.5	Korrelationen.....	31
4.6	Lungenfunktionsparameter im zeitlichen Verlauf.....	33
4.7	Absolute Werte jenseits der Grenzwerte der Referenzen	35
5	Diskussion	37
5.1	Lungenfunktion zwei Monate nach COVID-19.....	37
5.2	Körperliche Aktivität und Lungenfunktion nach COVID-19	39
5.3	Lungenfunktion sechs Monate nach COVID-19.....	40
5.4	Lungenfunktion im zeitlichen Verlauf.....	41
5.5	Limitationen der Studie	43
6	Conclusio.....	45
	Literaturverzeichnis.....	47

1 Hintergrund

Das Coronavirus SARS-CoV-2 hat in den letzten Jahren weltweit erhebliche gesundheitliche, soziale und ökonomische Auswirkungen verursacht. Die durch das Virus hervorgerufene COVID-19-Erkrankung wurde erstmals Ende 2019 identifiziert und hat sich seither mit über 770 Millionen dokumentierten Infektionen global ausgebreitet (WHO, 2025).

Eine Infektion mit SARS-CoV-2 kann sich in einem breiten Spektrum von Symptomen manifestieren, das von leichten, erkältungsähnlichen Beschwerden bis hin zu schweren, lebensbedrohlichen Krankheitsverläufen reicht (Li et al., 2021). Die häufigsten Symptome umfassen Fieber, Husten, Müdigkeit, Muskel- und Kopfschmerzen, begleitet von einem typischen Verlust des Geruchs- und Geschmackssinns (Alimohamadi et al., 2020; Grant et al., 2020).

Neben der hohen Morbidität und Mortalität zählen insbesondere die langfristigen Folgen zu den Herausforderungen im Gesundheitswesen (Healey et al., 2022). Denn auch nach überstandener akuter Infektion berichten viele Patient*innen von anhaltenden gesundheitlichen Einschränkungen (Alkodaymi et al., 2022). Diese längerfristigen Beschwerden, die mindestens drei Monate nach Beginn der Infektion auftreten und mindestens zwei Monate andauern, werden unter dem Begriff „Post-COVID-19-Syndrom“ zusammengefasst (Soriano et al., 2022). Zu den häufigsten Symptomen zählen unter anderem Müdigkeit, kognitive Störungen und Kurzatmigkeit (Carfi et al., 2020; Soriano et al., 2022).

1.1 Pathophysiologie und Risikofaktoren von COVID-19

COVID-19 hat sich in den letzten Jahren der Forschung als komplexe Infektionskrankheit mit Auswirkungen auf unterschiedliche Organsysteme etabliert (Zhao et al., 2020). Als primären Angriffspunkt wird das respiratorische System und somit die Lunge definiert, aber auch andere Organe des menschlichen Körpers können von akuten sowie auch langfristigen Einschränkungen betroffen sein (Zhao et al., 2020). Das folgende Kapitel beleuchtet die Mechanismen, durch die SARS-CoV-2 in den menschlichen Körper eindringt und sich systemisch ausbreitet. Ziel ist es, einen detaillierten Überblick über die akuten und persistierenden Folgen von COVID-19 auf den menschlichen Körper zu geben. In diesem Zusammenhang werden pathophysiologische Reaktionen sowie mögliche

Beeinträchtigungen verschiedener Organsysteme analysiert. Außerdem werden Risikofaktoren dargestellt, die sowohl mit der Infektion als auch mit der Entwicklung von schweren Krankheitsverläufen in Verbindung gebracht werden.

Der Hauptübertragungsweg des Virus SARS-CoV-2 erfolgt durch das Einatmen infektiöser Aerosole (Salem et al., 2021). Sobald SARS-CoV-2 über die Atemwege in den Körper gelangt, nutzt es sein Spike-Protein, um sich an Angiotensin-konvertierendes Enzym-2 (ACE2) -Rezeptoren zu binden (Bourgonje et al., 2020; South et al., 2020). Unterstützt wird dieser Prozess durch das Enzym Transmembrane Serinprotease 2 (TMPRSS2), das für die Spaltung des Spike-Proteins zuständig ist und die Fusion ermöglicht (Hoffmann et al., 2020). ACE2-Rezeptoren sind vor allem in den Zellen des respiratorischen Epithels zu finden, das wiederum die Lunge als primäres Zielorgan des Virus erklärt (Walls et al., 2020).

In der Zelle kommt es zur Vervielfältigung der Viren und somit zur Ausbreitung der Infektion (Hoffmann et al., 2020). Darauf reagiert das Immunsystem mit vermehrter Ausschüttung von proinflammatorischen Zytokinen, was in einem Zytokinsturm, einer verstärkten Entzündungsreaktion und der Schädigung des Lungengewebes resultieren kann (Bourgonje et al., 2020; Wiersinga et al., 2020). Bernard et al. (2020) konnten herausfinden, dass SARS-CoV-2 nicht nur die Epithelzellen, sondern auch Endothelzellen direkt infizieren und schädigen kann. Das wiederum begünstigt das Entstehen von Mikrothrombosen, Gefäßentzündungen oder Gerinnungsstörungen (Bernard et al., 2020).

Neben der Lunge kann SARS-CoV-2 über den Blutkreislauf auch in andere Organe gelangen, insbesondere in solche mit hoher ACE2-Rezeptordichte, wie das Herz und die Nieren (Salem et al., 2021). Aber auch die Leber und das Gehirn können betroffen sein (Wiersinga et al., 2020). So konnten Berad et al. (2025) berichten, dass eine Infektion mit SARS-CoV-2 langfristige kardiovaskuläre Folgen haben kann, die durch anhaltende Endotheldysfunktion und strukturelle Veränderungen des Myokards zu erklären sind. Diese Erkenntnisse bestätigen das erhöhte Risiko für Herzrhythmusstörungen, Hypertonie oder die Entstehung von Thrombosen (Berad et al., 2025). Katzer et al. (2024) untersuchten in einer Studie die möglichen Auswirkungen von COVID-19 auf das Immunsystem. Sie konnten feststellen, dass eine Infektion mit SARS-CoV-2 mit einer Reduktion von Immunzellen bis zu zehn Monate nach der Infektion korreliert (Kratzer et al., 2024). Das unterstreicht die langfristige immunologische Dysregulation und deutet auf eine nachhaltige Beeinträchtigung des Immunsystems hin (Kratzer et al., 2024).

Dieser Hintergrund belegt die Komplexität des SARS-CoV-2-Virus und betont die Notwendigkeit, pathophysiologische Prozesse sowie die Effekte auf den menschlichen Körper zu analysieren. Ein entscheidender Aspekt hierbei ist die Identifikation von Risikofaktoren, die einen schweren Verlauf begünstigen und langfristige Auswirkungen hervorrufen können. Gao et al. (2021) identifizierten mehrere Risikofaktoren für den Verlauf einer COVID-19-Erkrankung. Demzufolge werden ein höheres Alter, das männliche Geschlecht und bereits existierende Vorerkrankungen, wie Hypertonie, Diabetes, Fettleibigkeit oder chronische Lungenerkrankungen, mit einem erhöhten Risiko für schwere Verläufe in Verbindung gebracht (Gao et al., 2021). Diese Erkenntnisse werden von Zhang et al. (2023) gestützt. Zudem konnten Hamer et al. (2020) weitere Lebensstilfaktoren, wie körperliche Inaktivität und Rauchen, als Risikofaktoren für einen schweren Krankheitsverlauf mit Hospitalisierung definieren (Hamer et al., 2020).

Darüber hinaus wurden von Zhang et al. (2023) schützende Faktoren identifiziert, die nicht nur Hochrisikopatient*innen vor einer Infektion schützen, sondern auch die Entwicklung eines schweren Krankheitsverlaufs reduzieren können. Diese inkludieren eine COVID-19-Impfung, eine ausgewogene Ernährung sowie atopische Erkrankungen, die mit verminderter ACE2-Expression und möglicherweise einer reduzierten Virusaufnahme einhergehen (Zhang et al., 2023). Zur Veranschaulichung werden die nach Zhang et al. (2023) definierten Schutz- und Risikofaktoren in Abbildung 1 dargestellt.

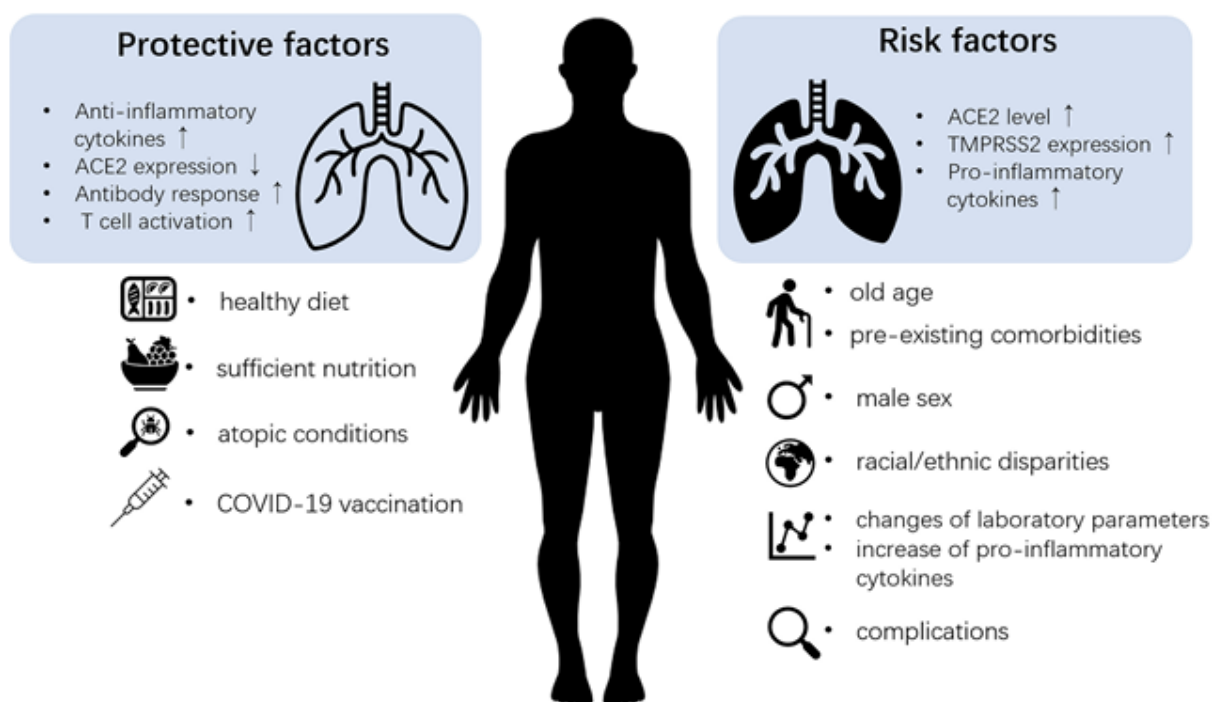


Abbildung 1: Schutz- und Risikofaktoren für COVID-19 (Zhang et al. 2023)

1.2 Bedeutung der körperlichen Aktivität im Zusammenhang mit COVID-19

Neben den bereits erwähnten Schutzfaktoren hinsichtlich einer Infektion mit SARS-CoV-2 und eines schweren Krankheitsverlaufs werden auch die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität im Zusammenhang mit COVID-19 in der Forschung diskutiert. Grundlage dieser Überlegungen ist die Bedeutung regelmäßiger körperlicher Aktivität für die Gesundheit und das Immunsystem. Zahlreiche Studien zeigen, dass regelmäßige Bewegung das Immunsystem stärkt, die Immunabwehr verbessert und so das Risiko für Infektionskrankheiten sowie die Sterblichkeit durch Infektionen reduziert wird (Chastin et al., 2021; Nieman & Wentz, 2019; Sallis et al., 2021). Die Metaanalyse von Chastin et al. (2021), mit einer Stichprobengröße von insgesamt 557 487 Proband*innen aus sechs Beobachtungsstudien, zeigt, dass erwachsene Personen, die regelmäßig sportlich aktiv sind und zumindest 150 Minuten pro Woche moderat trainieren, ein 31 % niedrigeres Infektionsrisiko für gesellschaftlich erworbene Infektionen aufweisen als jene, die sportlich inaktiv sind. Zudem ergaben ihre Untersuchungen, dass Personen, die über einen Zeitraum von 20 Wochen ein standardisiertes Aktivitätsprogramm von 180 Minuten körperlicher Aktivität pro Woche absolvierten, im Vergleich zu inaktiven Personen einen höheren Antikörpertiter nach Impfungen aufweisen (Chastin et al., 2021). Die Studie von Nieman & Wentz (2019) konnte ähnliche Auswirkungen von körperlicher Betätigung auf das Immunsystem festhalten. Dies zeigte sich insbesondere bei älteren Personen. Regelmäßige Bewegung erhöht die Mobilisierung von Immunzellen und trägt somit zu einer verbesserten Immunüberwachung bei (Nieman & Wentz, 2019). Nicht nur das Immunsystem, sondern auch die kardiopulmonale Gesundheit wird durch regelmäßige Bewegung positiv beeinflusst. Das zeigten Cheng et al. (2003) in ihrer Studie über die Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf Belastungstests und die Atemfunktion. Dabei konnte insbesondere bei Männern mit regelmäßiger körperlicher Aktivität ein signifikant höheres forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde (FEV1) sowie eine signifikant höhere forcierte Vitalkapazität (FVC) festgestellt werden (Cheng et al., 2003).

Auch die Auswirkungen von körperlicher Inaktivität auf den Schweregrad einer COVID-19-Erkrankung wurden bereits untersucht. In einer umfassenden Beobachtungsstudie von Sallis et al. (2021) wurden 48 440 COVID-19 Patient*innen aus den USA in drei Gruppen geteilt: konsistent inaktiv (0 bis 11 Minuten Bewegung pro Woche), teilweise aktiv (11 bis 149

Minuten Bewegung pro Woche) und aktiv gemäß WHO-Richtlinien (≥ 150 Minuten Bewegung pro Woche). Die Ergebnisse zeigten, dass körperlich inaktive Personen ein 2,26-fach höheres Risiko für eine Hospitalisierung und ein 2,49-fach erhöhtes Sterberisiko aufwiesen als Personen, die die WHO-Richtlinien für körperliche Aktivität erfüllten (Sallis et al., 2021). Auch jene, die zumindest teilweise aktiv waren, wiesen ein 1,32-fach niedrigeres Sterberisiko als inaktive Patient*innen auf (Sallis et al., 2021). Auffallend ist, dass körperliche Inaktivität als stärkerer Risikofaktor eingestuft wurde als Vorerkrankungen wie Hypertonie, Diabetes oder kardiovaskuläre Erkrankungen (Sallis et al., 2021).

Clemente-Suárez et al. (2022) wiesen jedoch darauf hin, die Auswirkungen von regelmäßiger körperlicher Aktivität auf eine COVID-19-Erkrankung kritisch zu betrachten. Zwar bestätigt die aktuelle Studienlage einen positiven Effekt auf das Immunsystem sowie die damit verbundene Minderung des Risikos für einen schweren Krankheitsverlauf, dennoch konnte kein direkter Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und einem geringeren Infektionsrisiko festgehalten werden (Clemente-Suarez et al., 2022).

Abbildung 2 zeigt die häufigsten Ausprägungen des Post-COVID-19-Syndroms sowie die potenziellen Effekte von Bewegung. Neben dem Einfluss auf das Immunsystem werden psychologische, neurologische, kardiovaskuläre, respiratorische und muskuloskelettale Auswirkungen dargestellt (Jimeno-Almazan et al., 2021).

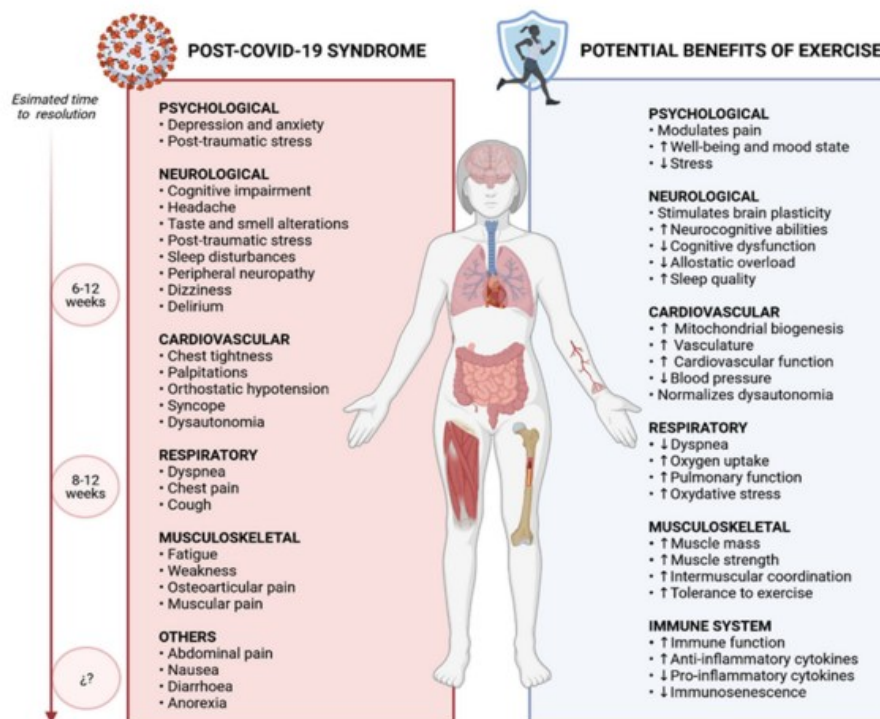


Abbildung 2: Potenzielle Effekte von Bewegung im Vergleich zu den häufigsten Manifestationen des Post-COVID-19-Syndroms (Jimeno-Almazán et al. 2021)

1.3 Pulmonale Auswirkungen von COVID-19

Trotz der Gewissheit über die systemische Ausbreitung von SARS-CoV-2 bleibt die Untersuchung der pulmonalen Auswirkungen zentraler Punkt der Forschung. Dies wird von zahlreichen Studien belegt, die die Atemwege und insbesondere das Lungengewebe als primäre Zielstrukturen des Virus definieren und die strukturellen sowie funktionellen Beeinträchtigungen der Lunge für eine Vielzahl der gesundheitlichen Einschränkungen verantwortlich machen (Upadhyay et al., 2022; Van Willigen et al., 2023). Diese Erkenntnisse stützen die Lungenfunktion als zentrales Forschungsfeld und unterstreichen die Notwendigkeit, pulmonale Langzeitauswirkungen einer COVID-19-Erkrankung genauer zu untersuchen. Das folgende Kapitel gibt einen Einblick zu den bisherigen Erkenntnissen über funktionelle Veränderungen der Lunge nach einer SARS-CoV-2-Infektion und schafft eine umfangreiche Grundlage für die im Rahmen dieser Masterarbeit erhobenen Lungenfunktionsparameter.

Anhand der aktuellen Literatur ist erkennbar, dass selbst Monate nach einer akuten SARS-CoV-2-Infektion eine signifikante Anzahl der Genesenen eine eingeschränkte Lungenfunktion aufweist, insbesondere hinsichtlich der Diffusionskapazität (DLCO) und der totalen Lungenkapazität (TLC) (Salem et al., 2021; Wu et al., 2021). Eine reduzierte Diffusionskapazität wurde dabei sowohl bei Patient*innen mit milden bis moderaten Symptomen als auch bei solchen mit schweren Krankheitsverläufen dokumentiert (Van Willigen et al., 2023). In einer Metaanalyse von Torres-Castro et al. (2021) konnte festgestellt werden, dass 39 % der postakuten COVID-19-Patient*innen eine reduzierte DLCO aufweisen. Das stellt die häufigste pulmonale Beeinträchtigung dar, insbesondere bei Patient*innen mit schweren Krankheitsverläufen (Torres-Castro et al., 2021).

Neben der eingeschränkten Diffusionskapazität sind auch andere funktionelle Veränderungen der Lunge durch das SARS-CoV-2-Virus zu beobachten. In einer Studie von Salem et al. (2021) konnten drei Monate nach der Genesung signifikant reduzierte Messwerte der FVC sowie des FEV1 im Vergleich zur Kontrollgruppe festgehalten werden. Bei 50 % der mit SARS-CoV-2 infizierten Proband*innen war eine restriktive Lungenfunktion erkennbar (Salem et al., 2021). Die Auswirkungen des Virus auf die FVC ist sowohl bei milder als auch bei schwerer Symptomatik feststellbar. Allerdings kommt es bei schweren Krankheitsverläufen zu einer signifikanten Abnahme der FVC (Suppini et al., 2023). In der Studie von Suppini et al. (2023) konnte ebenfalls eine Reduktion des mittleren

expiratorischen Flusses während der Ausatmung bei 25-75 % der FVC (FEF25-75) gemessen werden. Dabei steht der Schweregrad des Krankheitsverlaufs in direktem Zusammenhang mit der Abnahme des FEF25-75 (Suppini et al., 2023).

Eine weitere Erkenntnis der bisherigen Forschung ist, dass eine Infektion mit SARS-CoV-2 auch den Atemwegswiderstand (RAW) signifikant beeinflussen kann (Petersen et al., 2022). RAW wird als jener Widerstand definiert, den die Luft beim Ein- und Ausströmen in den Atemwegen erfährt, und steht in Zusammenhang mit der Elastizität und Offenheit der Atemwege (West, 2012). Studien konnten zeigen, dass COVID-19-Patient*innen neben den bereits erwähnten funktionellen Veränderungen auch einen erhöhten Atemwegswiderstand aufweisen (Petersen et al., 2022; Qiu et al., 2023). Davon sind laut Petersen et al. (2022) bereits Patient*innen mit milden bis moderaten Symptomen betroffen. Die Studie von Qiu et al. (2023) berichtete, dass in schweren Fällen Patient*innen mit bestätigter SARS-CoV-2-Infektion an akutem Atemversagen leiden und mechanische Beatmung benötigen. Es konnte festgestellt werden, dass Patient*innen mit schlechterer Prognose auf Verbesserung bei der Aufnahme im Krankenhaus einen signifikant höheren Atemwegswiderstand hatten als jene mit guter Prognose (Qiu et al., 2023).

Bisher richtete sich die Forschung zu den kurz- und langfristigen Auswirkungen von COVID-19 auf die Lungenfunktion vorwiegend auf Risikogruppen sowie auf Leistungssportler*innen (Gervasi et al., 2021; Komici et al., 2023). Moderat sportlich aktive Personen, die mit physiologischen Belastungen durch körperliche Aktivität rechnen müssen, sind jedoch ebenfalls von potenziellen Einschränkungen der Lungenfunktion betroffen. Angesichts dessen stellt diese Gruppe, auch ohne pathologischen oder leistungssportlichen Hintergrund, ein relevantes Forschungsfeld dar und muss noch genauer untersucht werden.

2 Forschungsfrage und Hypothesen

Im Zuge dieser Masterarbeit sollen die Auswirkungen einer Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus auf die Lungenfunktion in einem sportlich aktiven Kollektiv im Quer- und Längsschnitt erarbeitet werden. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Welche Auswirkungen hat eine COVID-19-Erkrankung auf die Lungenfunktion bei sportlich aktiven Erwachsenen und wie sehen diese Veränderungen im zeitlichen Verlauf aus?

Diese Analyse wird zusätzlich mit anthropometrischen Faktoren, dem Raucherstatus und der Schwere des Krankheitsverlaufs in Zusammenhang gebracht.

Dazu gilt es, folgende Hypothesen zu verifizieren:

- Eine COVID-19-Erkrankung führt bei sportlich aktiven Erwachsenen zu einer messbaren Beeinträchtigung der Lungenfunktion im Vergleich zu Normwerten.
- Das Ausmaß der körperlichen Aktivität steht in einem positiven Zusammenhang mit der Lungenfunktion nach einer COVID-19-Erkrankung.
- Anthropometrische Faktoren wie Alter, Größe und Gewicht haben einen Einfluss auf die Lungenfunktion nach einer COVID-19-Erkrankung.
- Die Lungenfunktion sportlich aktiver Erwachsener zeigt im Verlauf eine signifikante Verbesserung.

3 Methodik

Die gegenständliche Masterarbeit verwendet Daten der Quer- und Längsschnittstudie „Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach COVID-19“ der Universität Wien. Diese wurde von der Abteilung Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft im Zeitraum Januar 2022 bis Juni 2023 durchgeführt. Die Anmeldung für die Studienteilnahme wurde über eine eigens eingerichtete Studienwebsite (www.postcovid19.univie.ac.at) ermöglicht. Das Studienprotokoll wurde durch die Ethikkommission der Universität Wien (EK-00620/2021) begutachtet und freigegeben.

Im Rahmen der Studie wurde mithilfe sportmedizinischer Untersuchungen sowie qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden an zwei Testzeitpunkten ein umfangreiches Gesamtbild der körperlichen Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach COVID-19 dargestellt. Im Zentrum dieser Masterarbeit stehen insbesondere die Analyse der Lungenfunktionsparameter, das Ausmaß der körperlichen Aktivität sowie die Schwere des Krankheitsverlaufs, um die Auswirkungen einer SARS-CoV-2-Infektion auf die pulmonale Leistungsfähigkeit differenziert zu bewerten.

3.1 Studienkollektiv

Im Durchführungszeitraum der Studie wurden insgesamt 126 Personen untersucht. Alle Proband*innen mussten ein Mindestalter von 18 Jahren und eine vorangegangene Infektion mit SARS-CoV-2 mittels Polymerasekettenreaktion (PCR) – Test vorweisen. Von der Rekrutierung ausgeschlossen wurden jene Teilnehmer*innen mit akuten internistischen und/oder orthopädischen Erkrankungen sowie einer akuten SARS-CoV-2-Infektion. Trotz Abfrage der terminlichen Möglichkeiten und der Überprüfung des aktuellen Gesundheitszustands der Proband*innen im Rekrutierungsprozess, haben 17 Proband*innen den Folgetermin nicht wahrgenommen und wurden somit als Drop Out gekennzeichnet.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde das Studienkollektiv mit zusätzlichen Ein- und Ausschlusskriterien weiter eingegrenzt, um die wissenschaftliche Aussagekraft und Vergleichbarkeit zu gewährleisten (Jimeno-Almazan et al., 2021; Sallis et al., 2021).

Mit diesem Hintergrund wurden folgende Ein- und Ausschlusskriterien definiert:

Einschlusskriterien:

- SARS-CoV-2-Infektion maximal 6 Monate vor Erstuntersuchung
- Erfolgreicher Abschluss aller Untersuchungen
- Mindestens 2,5h bis maximal 15h Sport pro Woche
- Folgetermin innerhalb von 6 Monaten nach Erstuntersuchung

Ausschlusskriterien:

- Mindestens eine fehlerhafte Testung im Rahmen der Lungenfunktionstests
- Akute internistische und/oder orthopädische Erkrankung
- Akute COVID-19-Erkrankung

Unter Berücksichtigung dieser Ein- und Ausschlusskriterien wurde das Kollektiv auf 53 Proband*innen (37,7% weiblich) eingeschränkt.

3.2 Studienablauf

Die Studie wurde zur Analyse kurz- und langfristiger Folgen einer COVID-19-Erkrankung im Quer- und Längsschnitt konzipiert. Dazu wurde ein Untersuchungsprotokoll angefertigt, das Proband*innen zu zwei Zeitpunkten innerhalb von zwei bis maximal sechs Monaten durchführen sollten. Der zeitliche Aufwand pro Proband*in betrug an einem Testtag in etwa zwei bis drei Stunden. Zu Beginn wurde eine umfassende sportmedizinische Anamnese durchgeführt, bei der anthropometrische Daten, das Ausmaß der körperlichen Aktivität sowie die Symptomatik während der letzten COVID-19-Erkrankung erhoben wurden. Im Rahmen der Studie wurden zahlreiche medizinische Untersuchungen (u.a. eine bioelektrische Impedanz-Analyse, eine Echokardiographie, ein Ruhe-Elektrokardiogramm sowie eine Spirometrie) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen werden in dieser Masterarbeit nicht weiter berücksichtigt. In der Methodik werden nur jene Untersuchungsmethoden beschrieben, die in die Ergebnisberechnung eingeflossen sind.

Um die Auswirkungen einer SARS-CoV-2-Infektion auf die Lungenfunktion detailliert zu erfassen und eine ganzheitliche sowie differenzierte Analyse zu ermöglichen, wurde bei allen Proband*innen ein großer Lungenfunktionstest durchgeführt. Die Messungen erfolgten mithilfe eines Ganzkörperplethysmographen und umfassten eine forcierte Spirometrie, eine Bodyplethysmographie zur Bestimmung des Atemwegswiderstands (RAW) sowie die Messung der Diffusionskapazität (DLCO).

Zusätzlich wurden die Teilnehmer*innen gebeten, verschiedene Fragebögen auszufüllen, darunter der *EQ-5D-5L* zur Analyse der Lebensqualität, das *Beck-Depression-Inventar* (BDI-II) zur Erfassung depressiver Symptome, der *Post COVID Functional Scale* (PCFS) und ein spezifischer COVID-19-Fragebogen der Universität Wien. Die für diese Masterarbeit relevanten Daten, wie das Ausmaß der wöchentlichen sportlichen Aktivität in Stunden, wurden primär im Rahmen der sportmedizinischen Anamnese erhoben. Zusätzlich wurden die Daten zum Raucherverhalten dem COVID-19-Fragebogen entnommen.

Nach Abschluss der Untersuchungen fand eine ärztliche Besprechung statt, in der die Ergebnisse mit den Teilnehmer*innen diskutiert und die Befunde übergeben wurden. Alle Teilnehmer*innen wurden umfassend über Zielsetzung, Ablauf sowie potenzielle Risiken der Studie aufgeklärt und im Zuge dessen aufgefordert eine Einverständniserklärung zu unterzeichnen. Zur Wahrung der Datenschutzbestimmungen erfolgte eine Pseudonymisierung der erhobenen Daten mittels einer individuellen Covid-ID.

3.3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen dieser Studie wurden umfassende Lungenfunktionsmessungen durchgeführt, um die Auswirkungen einer SARS-CoV-2-Infektion auf die Lungenfunktion detailliert zu erfassen und eine ganzheitliche sowie differenzierte Analyse zu ermöglichen. Die pulmonalen Untersuchungen erfolgten mithilfe eines Ganzkörperplethysmographen und umfassten eine forcierte Spirometrie, eine Bodyplethysmographie zur Durchführung des TGV-Tests sowie zur Bestimmung des Atemwegswiderstands (RAW) und die Messung der Diffusionskapazität (DLCO).

Bei allen Untersuchungen wurde der Bodyplethysmograph von *smartPFTlab* als Testgerät und die dazugehörige Software *smartSOFTmee* zur Visualisierung und Auswertung der Testergebnisse verwendet. Die Testmanöver wurden gemäß den Standards der *European Respiratory Society* (ERS) und der *American Thoracic Society* (ATS) durchgeführt, um eine hohe Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten (Graham et al., 2019). Um für grundlegende Genauigkeit und Qualitätssicherung zu sorgen, wurde das Testgerät täglich vor der ersten Testung neu kalibriert und auf etwaige Fehlerquellen überprüft. Das medizinische Personal wurde im Vorfeld auf die Durchführung der einzelnen Testmanöver nach ERS- und ATS-Richtlinien eingeschult. Dabei wurde besonders auf präzise Instruktion am Testgerät sowie gezielte Demonstration und Anleitung der Testmanöver Wert gelegt. Die Proband*innen wurden vor jeder Testung angehalten, das Mundstück mit den Lippen

vollständig zu umschließen und die Nasenklemme sorgfältig anzulegen. Für die korrekte Überwachung der Testdurchführung sollte der*die Untersuchende so positioniert sein, dass sein*ihr Blick auf den*die Proband*in sowie auf das Display des Bodyplethysmographen gerichtet ist. Dies ermöglichte eine direkte Kontrolle der Testungen und zudem eine klare Kommunikation mit den Proband*innen. Vor Durchführung der Testmanöver wurden Alter, Größe, Geschlecht und Ethnie der Proband*innen für die Berechnung der Referenzwerte erhoben. Um die Sicherheit der Proband*innen und die Standardisierung der Tests zu gewährleisten, erfolgten alle respiratorischen Untersuchungen im Sitzen. Nach jeder Testserie wurde entsprechend desinfiziert und gereinigt, um die Hygiene- und Infektionsvorschriften einzuhalten. Außerdem wurden zum Schutz vor Infektionen und zur Aufrechterhaltung der Messgenauigkeit ausschließlich Mundstücke mit Einmal-Bakterien-Viren-Filter verwendet.

3.3.1 Die forcierte Spirometrie

Die forcierte Spirometrie ist ein grundlegendes Verfahren zur Messung dynamischer Lungenvolumina und Atemflussgeschwindigkeiten (Miller et al., 2005). Aufgrund ihrer Bedeutung in der Diagnostik von Atembeschwerden und Lungenkrankheiten ist sie auch in der Beurteilung von COVID-19-bedingten Veränderungen der Lungenfunktion unersetzlich (Amelunxen et al., 2023). Im Rahmen der Studie wurde die forcierte Spirometrie eingesetzt, um obstruktive oder restriktive Einschränkungen der Atemwege nach einer COVID-19-Erkrankung festzustellen.

Bei der Durchführung des Testmanövers wurde auf Genauigkeit sowie Standardisierung einzelner Untersuchungsschritte geachtet. Zu Beginn der forcierten Spirometrie sollte die Testperson einige normale Atemzüge durchführen. Anschließend wurde vom medizinischen Personal akustisch signalisiert, langsam und kontinuierlich vollständig auszuatmen. Darauf folgte eine gemütliche, aber maximale Einatmung, um dann kraftvoll und schnellstmöglich auszuatmen. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass das Ausatmungsmanöver mit höchstmöglicher Flussgeschwindigkeit und das Einatmungsmanöver in größtmöglicher Tiefe ausgeführt wurde. Eine präzise Anleitung sowie kontinuierliche Motivation waren notwendig, um die maximale Atemkraft zu erreichen und so für verlässliche Testergebnisse zu sorgen.

Den Untersuchenden wurde erhebliche Verantwortung bei der Überwachung der technischen Kriterien zugesprochen. Dabei galt es sicherzustellen, dass die Fluss-Volumen-Kurve keine

Artefakte beinhaltet und mindestens drei valide und reproduzierbare Manöver durchgeführt werden, wobei der Unterschied zwischen den beiden besten Werten der FVC und FEV1 jeweils nicht mehr als 150 ml betragen durfte (Graham et al., 2019). Eine Ausatemzeit von mindestens sechs Sekunden sollte eingehalten werden (Albert, 2011).

Im Folgenden werden alle berücksichtigten Qualitätskriterien für forcierte expiratorische Manöver gemäß der ERS- und ATS-Richtlinien aufgelistet. Diese wurden nach Akzeptanz, Usability und Reproduzierbarkeit eines forcierten Manövers kategorisiert (Amelunxen et al., 2023).

Kriterien der Akzeptanz und Usability eines Manövers

- Kein Hinweis auf einen fehlerhaften Null-Abgleich
- Kein Hinweis auf Husten, Abbruch, Leck in der ersten Sekunde der Expiration
- Kein Hinweis auf einen Glottis-Schluss in der ersten Sekunde der Expiration

Außerdem musste zumindest eines der folgenden *End of forced expiration* (EOFE)–Kriterien erfüllt werden. Das expiratorische Manöver konnte in diesem Zusammenhang als beendet angesehen werden, wenn in der letzten Sekunde der Expiration eine Volumenänderung von maximal 25 ml gemessen wurde (Plateau in der Fluss-Volumen-Kurve), die Expiration mindestens 15 Sekunden gehalten wurde oder die aktuell gemessene FVC größer als der zuletzt gemessene Wert war oder innerhalb der Reproduzierbarkeits-Toleranz lag (Amelunxen et al., 2023).

Kriterien der Reproduzierbarkeit

- Drei reproduzierbare Manöver mit Differenz der zwei größten FVC-Werte und FEV1-Werte ≤ 150 ml

Wenn alle Anforderungen umgesetzt wurden, kann die forcierte Spirometrie mit hoher Präzision unterschiedliche Ventilationsstörungen klassifizieren und quantifizieren (Miller et al., 2005). Dabei kann die Beurteilung der Testergebnisse einerseits anhand der grafischen Darstellung in Form der Fluss-Volumen-Kurve erfolgen. Hierbei werden die Parameter des Atemflusses bei Inspiration und Expiration im Verhältnis zum ein- und ausgeatmeten Volumen zur Visualisierung dargestellt, siehe Abbildung 3. Der obere Teil der Grafik repräsentiert die Expiration, während der untere Teil die Inspiration abbildet. Andererseits wurden die einzelnen Messwerte im Vergleich zu individuellen Referenzwerten, basierend auf Alter, Geschlecht, Größe und Ethnie, interpretiert (Amelunxen et al., 2023).

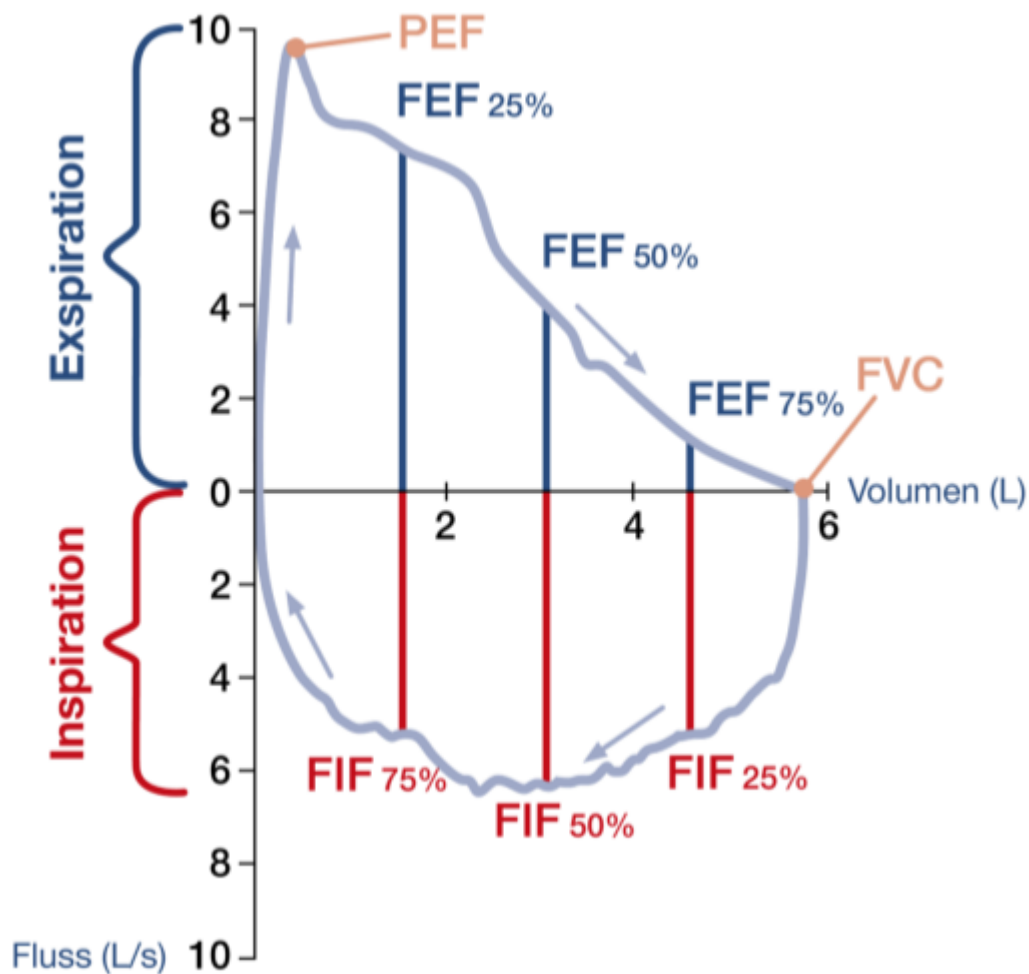


Abbildung 3: Atemflussparameter in der forcierten Expiration und forcierten Inspiration (Amelunxen et al., 2023)

Folgende Parameter wurden im Rahmen der forcierten Spirometrie erhoben: Forcierte Vitalkapazität (FVC), forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde (FEV1), Tiffeneau Index ($FEV1/FVC = FEV1$, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität), maximale Ausatemflussrate (PEF), maximaler expiratorischer Fluss bei 25 %, 50 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens (MEF25/50/75) und mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens (MEF25-75).

Zur Beschreibung der expiratorischen Atemstromstärke werden, wie in Abbildung 3 dargestellt, häufig die Parameter FEF25, FEF50 und FEF75 herangezogen. Diese beziehen sich auf den abgeatmeten Prozentsatz der FVC und nicht auf den noch verbleibenden Anteil der Vitalkapazität in der Lunge. Nach den Empfehlungen der Österreichischen Gesellschaft für Pneumologie sind FEF75 und MEF25 sowie FEF25 und MEF75 ident (Amelunxen et al., 2023). Im Rahmen dieser Masterarbeit wird zur Vereinheitlichung ausschließlich die Bezeichnung MEF verwendet.

3.3.2 Die Bodyplethysmographie

Die Bodyplethysmographie gilt seit über 40 Jahren als Standardmethode zur Messung der statischen Lungenvolumina und des Atemwegswiderstands (Albert, 2011). Die Untersuchung umfasst drei wesentliche Messmanöver, die im Rahmen der Studie durchgeführt wurden: die Ermittlung des thorakalen Gasvolumens (TGV), die Spirometrie zur Bestimmung des Residualvolumens (RV) und der totalen Lungenkapazität (TLC) und die Messung des Atemwegswiderstands (RAW).

3.3.2.1 Durchführung des TGV-Tests

Für die Messung des thorakalen Gasvolumens setzte sich der*die Proband*in möglichst entspannt in den Bodyplethysmographen. Die Türen der Druckkammer wurden anschließend vollständig geschlossen und die Nasenklammer angelegt. Der*die Proband*in wurde vor Testablauf erinnert, das Mundstück mit beiden Lippen fest zu umschließen. Zu Beginn des Atemmanövers wurde ruhig und regelmäßig geatmet. Nach drei bis vier normalen Atemzügen wurde die Messung durch manuelle Aktivierung des Ventils vom Studienpersonal per Tastendruck auf der Tastatur gestartet. Es folgte eine Blockade der Atmung durch Schließen des Ventils für ca. drei Sekunden. Während dieser Verschlussphase wurde der*die Patient*in aufgefordert mehrere Atemzyklen gegen Widerstand durchzuführen. Die dadurch entstehende Druckänderung wurde in Relation zu den Druckschwankungen im Bodyplethysmographen aufgezeichnet und ermöglichte die Bestimmung des TGV (Sylvester et al., 2020). Dieser stellt das Volumen innerhalb des Brustkorbs zum Zeitpunkt der Atemblockade dar (Sylvester et al., 2020).

Nach dem Öffnen des Ventils wurde sichergestellt, dass sich die Atmung wieder normalisiert. Anschließend erfolgte eine Spirometrie zur Bestimmung der Vitalkapazität (VC), der inspiratorischen Kapazität (IC), des Residualvolumens (RV) und der totalen Lungenkapazität (TLC). Dazu sollte der*die Patient*in zunächst maximal ausatmen, wodurch das expiratorische Residualvolumen (ERV) gemessen wurde (Criece et al., 2011). Das verbleibende Luftvolumen in der Lunge nach maximaler Ausatmung entspricht dem Residualvolumen und kann anschließend mit folgender Formel berechnet werden: $RV = TGV - ERV$. Abschließend wurde eine maximale Einatmung durchgeführt, um die inspiratorische Vitalkapazität (IVC) zu messen (Albert, 2011). So konnte auch die totale Lungenkapazität (TLC) errechnet werden: $TLC = RV + IVC$. Die Berechnungen wurden von der Software automatisch mit Abschluss des Testversuchs durchgeführt (Albert, 2011).

Ähnlich wie bei der forcierten Spirometrie wurde auch bei der Durchführung des TGV-Tests auf die Qualität und Reproduzierbarkeit der Messungen geachtet. Hierfür wurden die Standards der *Association for Respiratory Technology & Physiology* (ARTP) berücksichtigt (Sylvester et al., 2020). Um valide und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten, wurde der Test zumindest dreimal und wenn möglich kontinuierlich durchgeführt. Das System berechnet den Mittelwert aller gültigen Messungen und bestimmt somit den Wert der erhobenen Variablen (Sylvester et al., 2020).

Folgende Parameter wurden erhoben: Vitalkapazität (VC), Inspiratorische Kapazität (IC), Expiratorisches Residualvolumen (ERV), Thorakale Gasvolumen (TGV), Totale Lungkapazität (TLC) und Residualvolumen (RV).

3.3.2.2 Messung des Atemwegswiderstands

Eines der zentralen Ziele der Bodyplethysmographie ist die Erfassung des Atemwegswiderstands (RAW). Dabei stellt RAW den tatsächlichen Atemwegswiderstand dar und wird als Verhältnis von alveolärem Druckabfall zur Atemstromstärke definiert (Crie et al., 2011). Er gibt an, wie viel Druck erforderlich ist, um einen bestimmten Atemfluss durch die Atemwege zu erzeugen. Der spezifische Atemwegswiderstand (sRAW) berücksichtigt neben dem tatsächlichen Widerstand auch volumenbezogene Anpassungen und ist daher weniger anfällig auf Messfehler (Crie et al., 2011). Mit diesem Hintergrund wurden beide Parameter für eine differenzierte Analyse respiratorischer Einschränkungen nach einer COVID-19-Erkrankung herangezogen.

Die Messung des Atemwegswiderstands erfolgte wie der TGV-Test in der druckdicht verschlossenen Kammer des Bodyplethysmographen. Neben den standardisierten, in Kapitel 3.2 beschriebenen Anweisungen vor Untersuchungsbeginn, war es hier von großer Bedeutung, dass nochmals auf eine ruhige Sitzposition und die Befolgung der Anweisungen des Untersuchungspersonals hingewiesen wurde (Albert, 2011).

Das Testmanöver begann mit einer gleichmäßigen Ruheatmung. Anschließend erhielt der*die Proband*in die Anweisung, schneller und oberflächlicher zu atmen sowie die Atemfrequenz auf 40 bis 60 Atemzüge pro Minute zu erhöhen. Das Atemzugvolumen sollte dabei die Grenze von 500 ml pro Atemzug nicht überschreiten. Der ideale Atemfluss für optimale Testergebnisse liegt zwischen 1 Liter pro Sekunde und 1,5 Liter pro Sekunde (Albert, 2011). Die Untersuchungszeit war abhängig von der Compliance des*der Proband*in, sollte in der Regel aber nicht länger als eine Minute dauern.

Bei der Durchführung des Atemmanövers wurden die Atemflussgeschwindigkeit und der Druck in der Kammer gemessen. Zusätzlich wurden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Umgebungsdruck erfasst, um den alveolären Druck zu berechnen (Albert, 2011). Daraus resultierten Atemschleifen, die den Atemfluss in Relation zum ermittelten alveolären Druck zeigen, dargestellt in Abbildung 4.

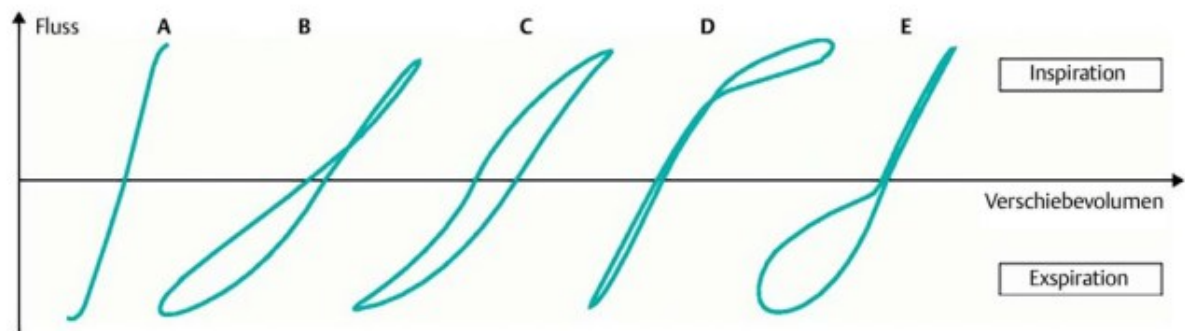


Abbildung 4: Atemschleifen bei der Bodyplethysmographie. A: Normalbefund (steile, fast lineare Kurve), B: Intrathorakale (periphere) Obstruktion mit überwiegend expiratorischer Widerstandserhöhung, C: In- und expiratorische Widerstandserhöhung, D: extrathorakale Obstruktion mit inspiratorischer Widerstandserhöhung, E: Lungenemphysem mit expiratorischer Widerstandserhöhung (Freihorst, 2015)

Die Form der Atemschleife ermöglicht die Beurteilung der Ausprägung des Atemwegswiderstands. Ein nahezu linearer Verlauf, wie bei Schleife A in Abbildung 4 zu sehen, weist auf einen geringen Widerstand hin, während eine abgeflachte Schleife einen erhöhten Widerstand signalisiert (Crie et al., 2011). Das Öffnen der Atemschleifen deutet auf zeitlich versetzte Veränderungen von Druck und Atemstrom hin und ermöglicht die Diagnostik unterschiedlicher pulmonaler Pathologien (Freihorst, 2015).

3.3.3 Messung der Diffusionskapazität

Die Bestimmung der Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenmonoxid (DLCO) ist ein etabliertes Verfahren zur Beurteilung des Gasaustauschs zwischen den Alveolen und dem Kapillarsystem. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird der Ausdruck Transfer-Faktor der Lunge für Kohlenmonoxid (TLCO) als Synonym der DLCO verwendet, wie es in Europa üblich ist (Graham et al., 2017). Nach den ERS- und ATS-Standards für die Kohlenmonoxid-Aufnahme in der Lunge in einem Atemzug sind beide Begriffe gültig und beschreiben die Fähigkeit der Lunge, Kohlenmonoxid von den Alveolen ins Blut zu übertragen (Graham et al., 2017). Die Messung des TLCO erfolgte durch das Single-Breath-Verfahren, bei dem die Proband*innen ein Testgasgemisch mit einer geringen Konzentration an Kohlenmonoxid (CO) inhalieren. Die aufgenommene Menge an Kohlenmonoxid ist äußerst gering und daher aus gesundheitlicher Sicht unbedenklich (Albert, 2011).

Das Testverfahren wurde gemäß der ERS- und ATS-Standards für das Single-Breath-Verfahren standardisiert durchgeführt. Die Untersuchung begann mit dem Finden eines entspannten Atemrhythmus. Anschließend sollte der*die Proband*in tief ausatmen, bis ein akustisches Signal den Gasfluss einläutet. Nach der vollständigen Ausatmung sollte der*die Proband*in maximal einatmen und für etwa zehn Sekunden den Atem anhalten. In dieser Phase sorgte das Studienpersonal mit klarer Kommunikation für die zeitliche Orientierung des*der Proband*in. Nach Ablauf der zehn Sekunden folgte eine forcierte Expiration, bei der möglichst rasch und vollständig ausgeatmet werden sollte. Durch die Differenz zwischen ein- und ausgeatmeter CO-Konzentration wurde der TLCO bestimmt (Graham et al., 2017). Nach Abschluss des Atemmanövers wurde der Atemrhythmus wieder normalisiert. Aufgrund der Wartezeit, bis ein weiterer Testversuch möglich geworden wäre, wurde von der Studienleitung entschieden, die Messung nur einmal durchzuführen.

3.4 Klassifizierung der Schwere einer COVID-19-Erkrankung

Zur Bewertung des Krankheitsverlaufs wurde eine standardisierte Skala verwendet, die auf der Anzahl und Schwere der während der Infektion aufgetretenen Symptome basiert. Die Erhebung der Symptome wurde im Rahmen des sportmedizinischen Anamnesebogens durchgeführt. Dabei wurden die unterschiedlich gewichteten Symptome auf ihr Auftreten abgefragt. Ein „Ja“ für das Vorliegen eines Symptoms wurde mit 1 gewertet, ein „Nein“ mit 0. Zusätzlich erfolgte eine Gewichtung der einzelnen Symptome durch die Studienärzt*innen, um die Schwere basierend auf dem Grad der systemischen Beeinträchtigung zu bewerten.

- Leichte Symptome (1 Punkt): Geruchs- und Geschmacksverlust, Kopfschmerzen
- Mittelschwere Symptome (2 Punkte): Fieber, Husten, Muskelschmerzen, Durchfall, Übelkeit
- Schwere Symptome (3 Punkte): Atemnot

Durch das Addieren der gewichteten Symptome ergibt sich ein Punktesystem von 0 bis maximal 15 Punkten und ermöglicht eine Gesamtbewertung der Erkrankung. Ein höherer Wert steht für eine schwerere Verlaufsform der COVID-19-Erkrankung.

3.5 Statistische Analyse

Die Datenerhebung im Rahmen der Studie „Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach COVID-19“ erfolgte mittels Excel (Microsoft® Office®, 2022, USA). Die für diese Masterarbeit relevanten Daten wurden in einer externen Datenbank manuell erfasst und anschließend für die statistische Auswertung aufbereitet.

Die statistische Analyse wurde mit der Software SPSS (IBM® SPSS® Statistics, Version 29, USA) durchgeführt. Alle Variablen sowie die Differenzen der Datenpaare wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft (Razali & Wah, 2011). Zur Darstellung der deskriptiven Statistik wurden normalverteilte Variablen mit dem Mittelwert (MW) und der Standardabweichung (SD), hingegen nicht normalverteilte Variablen mit dem Median (MD) und der Interquartilsrange (IQR) angegeben.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Auswirkungen einer Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus auf die Lungenfunktion sowohl im Quer- als auch im Längsschnitt zu analysieren. Um mögliche Veränderungen der Lungenfunktion nach einer COVID-19-Erkrankung feststellen zu können, wurden die Testergebnisse von beiden Testterminen zunächst mit Referenzwerten verglichen. Hierfür wurden die errechneten Normbereiche der Software *smartSOFTmee* auf Basis der GLI 2012-Normwerte herangezogen. Diese Normwerte wurden von der Global Lung Initiative (GLI) für unterschiedliche Ethnien und Altersbereiche entwickelt und berücksichtigen daher entscheidende Faktoren wie Alter, Größe, Geschlecht und ethnische Zugehörigkeit der Proband*innen (Amelunxen et al., 2023).

Für die Auswahl des statistischen Tests wurden zunächst die Differenzen aller mit dem Bodyplethysmographen erhobenen Parameter und der dazugehörigen Referenzwerte berechnet und ebenfalls mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. War die Differenz des jeweiligen Variablenpaares normalverteilt, wurde der t-Test für gepaarte Stichproben angewandt. Andernfalls wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet, um Unterschiede zwischen den Testergebnissen und den jeweiligen Referenzwerten festzustellen. In Tabelle 3 und 4 wurden die Ergebnisse der einzelnen Parameter im Vergleich zu ihren Referenzwerten in absoluten Zahlen dargestellt. Dabei wurde die Normalverteilung der einzelnen Variablen berücksichtigt. Waren beide Variablen (Testergebnis und Referenzwert) normalverteilt, wurden beide Werte in $MW \pm SD$ angegeben. Sobald eine der beiden Variablen nicht normalverteilt war, wurden beide Variablen in MD (IQR) dargestellt. Außerdem wurde ein %Soll-Wert zur Verdeutlichung des Ergebnisses hinzugefügt, der den

prozentualen Anteil des Testergebnisses von dem zu erreichenden absoluten Referenzwert zeigt. Decken sich Testergebnis und Referenzwert, würde %Soll mit 100 % dargestellt werden.

Die statistische Signifikanz p eines Ergebnisses wurde mit $p < 0,05$ festgelegt und in den Tabellen entsprechend gekennzeichnet. Hierfür wurde bei allen statistischen Tests der zweiseitige p -Wert herangezogen, um Abweichungen in beide Richtungen zu berücksichtigen.

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Lungenfunktionsparametern und unterschiedlichen Einflussfaktoren wurde die Spearman-Rangkorrelation berechnet. Die Korrelationen wurden zweiseitig überprüft und in Tabelle 5 dargestellt. Ebenso wurde der Korrelationskoeffizient r zur Interpretation von Stärke und Richtung des Zusammenhangs angeführt. Dieser nimmt Werte zwischen -1 und 1 an und beschreibt, inwiefern eine Variable mit einer anderen in Beziehung steht (Siebertz et al., 2017). Ein positiver Zusammenhang ($0 < r < 1$) bedeutet, dass mit steigenden Werten einer Variable auch die Werte der anderen Variable steigen. Ein negativer Zusammenhang ($-1 < r < 0$) zeigt hingegen, dass höhere Werte einer Variable mit niedrigeren Werten der anderen assoziiert sind (Siebertz et al., 2017). Je näher der Korrelationskoeffizient an 1 oder -1 liegt, desto stärker ist der Zusammenhang zwischen den Variablen. Ein Wert von $r = 0$ zeigt an, dass kein Zusammenhang besteht (Siebertz et al., 2017). Zur Klassifizierung wurden die Richtlinien von Untersteiner (2007) herangezogen. Bei $r < 0,2$ besteht ein sehr geringer, bei $0,2 \leq r < 0,5$ ein geringer, bei $0,5 \leq r < 0,7$ ein mittlerer und bei $r \geq 0,7$ ein hoher Zusammenhang (Untersteiner, 2007).

Zur Längsschnittanalyse und Überprüfung der Hypothese, dass die Lungenfunktion sportlich aktiver Erwachsener im zeitlichen Verlauf signifikant regeneriert, wurden die Veränderungen der Lungenfunktionsparameter zwischen den Messzeitpunkten untersucht. Zunächst wurden die Differenzen zwischen den Messwerten zu Testzeitpunkt 1 und 2 mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Anschließend erfolgte die statistische Analyse der Unterschiede zwischen den Zeitpunkten. Für normalverteilte Differenzen wurde der t -Test für gepaarte Stichproben angewendet, während nicht normalverteilte Differenzen mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test untersucht wurden. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in Tabelle 6 als absolute Werte mit den zugehörigen Signifikanzen dargestellt. Wie bei Tabelle 3 und 4, wurde auch hier die Normalverteilung beider Variablen (Testergebnis zum TZ 1 und TZ 2) für die tabellarische Darstellung berücksichtigt.

Um eine differenziertere Betrachtung der Veränderungen zu ermöglichen, werden in Tabelle 7 ausgewählte Parameter hinsichtlich der Anzahl an Proband*innen jenseits der Grenzwerte *Lower Limit of Normal* (LLN) oder *Upper Limit of Normal* (ULN) in Anlehnung an Chen et al. (2022) präsentiert. LLN ist definiert als die untere 5. Perzentile der Referenzwerte und markiert die Schwelle, unterhalb der ein gemessener Lungenfunktionswert als vermindert und potenziell pathologisch einzustufen ist. ULN steht für die obere 95. Perzentile der Referenzwerte und kennzeichnet die Grenze, oberhalb der ein Wert als erhöht und potenziell pathologisch zu erklären ist (Amelunxen et al., 2023). Für den TLCO wurde nach Chen et al. (2022) $TLCO < 80 \%$ als Grenzwert definiert. Dargestellt wird die Gesamtanzahl der potenziell pathologischen Fälle und ihr prozentualer Anteil am Kollektiv.

4 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Auswirkungen einer COVID-19-Erkrankung auf die Lungenfunktion in einem sportlich aktiven Kollektiv im Quer- und im Längsschnitt untersucht. Dabei wurden potenzielle Einflussfaktoren, wie anthropometrische Daten, der Raucherstatus und die Ausprägung der sportlichen Aktivität auf die Lungenfunktion nach einer COVID-19-Erkrankung, herausgearbeitet. Besonderes Augenmerk wurde auf die Regeneration spezifischer Lungenfunktionsparameter im zeitlichen Verlauf gelegt. Im Folgenden wird das untersuchte Kollektiv zunächst deskriptiv dargestellt, bevor die Ergebnisse der Analysen im Quer- und Längsschnitt präsentiert werden.

4.1 Studienkollektiv

Das Kollektiv umfasst insgesamt 53 Personen, bestehend aus 33 Männern (62,3 %) und 20 Frauen (37,7 %). Das Durchschnittsalter der Proband*innen beträgt 36 (16) Jahre, wobei die Altersspanne von 20 bis 59 Jahre reicht. Die Teilnehmer*innen haben eine durchschnittliche Körpergröße von $1,76 \pm 0,08$ m und ein durchschnittliches Körpergewicht von 79 (22) kg. Der Body-Mass-Index (BMI) liegt im Mittel bei $24,4 \text{ kg/m}^2$. Innerhalb des Kollektivs sind 29 Proband*innen normalgewichtig, 19 übergewichtig und 5 adipös. Alle deskriptiven Daten sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten des Gesamtkollektivs ($n = 53$)

	MW \pm SD	MD (IQR)	Min	Max
Alter (J)		36 (16)	20	59
Größe (m) *	$1,76 \pm 0,08$		1,56	1,93
Gewicht (kg)		79 (22)	50	149
BMI (kg/m²)		24,4 (5,3)	18,8	44

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, MD (IQR): Median (Interquartilsabstand), Min: Minimum, Max: Maximum, J: Jahre, m: Meter, kg: Kilogramm, BMI: Body Mass Index, kg/m^2 : Quotient aus Gewicht und Körpergröße in Meter zum Quadrat, Normalverteilte Variablen sind mit „*“ gekennzeichnet

Die Beschreibung des Kollektivs wird durch Angaben zum Raucher- und Aktivitätsverhalten weiter ergänzt. Wie in Tabelle 2 ersichtlich ist, geben von den 53 Proband*innen insgesamt 16 Personen an, aktive Raucher*innen zu sein. Diese rauchen im Median 14 (10) Zigaretten pro Tag, wobei die Werte zwischen einer und 30 Zigaretten pro Tag liegen. Die Angaben der Proband*innen ergeben durchschnittlich einen aktiven Raucherstatus von 10 (8) Jahren im Median. Die Zeitspanne, seit der aktiv geraucht wird, beträgt mindestens drei und maximal 30 Jahren.

Hinsichtlich des Aktivitätsverhaltens beträgt die wöchentliche Sportaktivität im Median 5 (5,3) Stunden. Der geringste Wert der sportlichen Aktivität pro Woche und zugleich auch das Mindestmaß zur Erfüllung der Einschlusskriterien beträgt 2 Stunden und im Maximum 15 Stunden pro Woche.

Tabelle 2: Beschreibung des Raucher- (n = 16) und des Aktivitätsverhalten (n = 53)

	Min	Max	MD (IQR)
Raucher (n = 16)			
Zigaretten / Tag	1	30	14 (10)
Raucherjahre (J)	3	30	10 (8)
Aktivitätsverhalten (n = 53)			
Stunden/Woche (h)	2,5	15	5,5 (5,3)

n: Gesamtanzahl, Min: Minimum, Max: Maximum, MD (IQR): Median (Interquartilsabstand), J: Jahre, h: Stunden, Variablen sind nicht normalverteilt

4.2 Auswertung der Schwere der Erkrankung

In Abbildung 2 ist das Kollektiv nach der Schwere der Erkrankung in einem Säulendiagramm dargestellt. Die x-Achse beschreibt die Schweregrade der Erkrankung (numerische Werte von 0 bis 15), während die y-Achse die Anzahl der betroffenen Personen angibt. Die Mehrheit der Proband*innen weist Schweregrade zwischen 3 und 7 auf, das auf ein häufiges Auftreten von milden bis moderaten Verläufen hindeutet. Der häufigste Schweregrad liegt bei 5, mit 10 betroffenen Personen. Weitere hohe Häufigkeiten sind bei den Schweregraden 3 mit 9 Personen sowie 6 und 7 mit jeweils 7 Personen zu verzeichnen. Sehr leichte und schwere Verläufe sind in diesem Kollektiv selten aufgetreten. Überhaupt wurden nur zwei Proband*innen mit sehr schweren Verläufen zwischen 13 und 14 eingeschlossen. Der Schweregrad 15 wurde nicht erreicht.

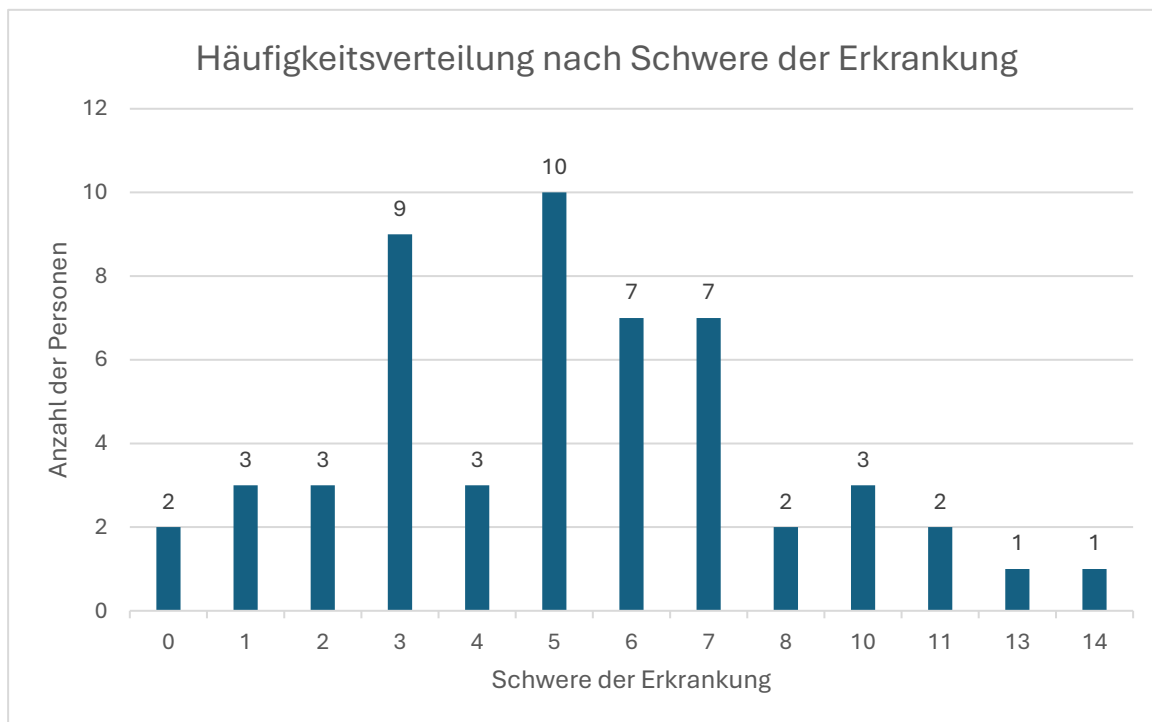


Abbildung 5: Einteilung des Gesamtkollektivs ($n = 53$) in Schweregrade der COVID-19-Erkrankung. Anzahl und Gewichtung der Symptome gewertet in einer Skala von 0-15

4.3 Lungenfunktionsparameter zum ersten Testzeitpunkt

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Lungenfunktionsuntersuchungen zum ersten Messzeitpunkt dargestellt. Alle Daten wurden mit Hilfe des Bodyplethysmographen erhoben und umfassen ausgewählte Parameter zur Analyse der Spirometrie, der Lungenvolumina, des Atemwegswiderstands sowie der Diffusionskapazität. Um die Auswirkungen einer COVID-19-Erkrankung festzustellen, wurden die gemessenen Parameter mit den jeweiligen Soll-Werten verglichen. Die Unterschiede der Testergebnisse zu ihren Referenzwerten zum ersten Testtermin wurden systematisch auf statistische Signifikanz überprüft und in Tabelle 3 veranschaulicht. Die folgenden Abschnitte geben einen detaillierten Überblick über die ermittelten Ergebnisse und deren Abweichungen von den physiologischen Normwerten.

4.3.1 Ergebnisse der forcierten Spirometrie

Im Vergleich der Messwerte zum ersten Testzeitpunkt (T1) und der jeweiligen Soll-Werte können einige signifikante Unterschiede festgestellt werden. Das forcierte expiratorische Volumen in der ersten Sekunde (FEV1) liegt im Mittel bei $3,83 \pm 0,86$ Litern und erreicht somit 95 % des Soll-Werts von $4,03 \pm 0,76$ Litern. Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p = 0,004$). Der Tiffeneau-Index (FEV1/FVC) beträgt $78,91 \pm 5,81$ % und erreicht damit 96 % des Soll-Werts von 82 ± 2 % ($p < 0,001$). Der maximale expiratorische Fluss bei 25 % des ausgeatmeten Volumens (MEF25) liegt bei einem Mittelwert von $1,61 \pm 0,64$ Litern pro Sekunde, das nur 68 % des Soll-Werts von $2,24 \pm 0,42$ Litern pro Sekunde entspricht. Der Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0,001$). Weitere signifikante Unterschiede der spirometrischen Parameter sind im maximalen expiratorischen Fluss bei 50 % des ausgeatmeten Volumens (MEF50) und der mittleren expiratorischen Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens (MEF25-75) festzustellen. MEF50 beträgt im Mittel $4,38 \pm 1,45$ Liter pro Sekunde und liegt bei 87 % des Soll-Werts von $4,99 \pm 0,66$ Litern pro Sekunde ($p = 0,001$). MEF25-75 hat einen Median von 3,87 (1,51) Litern pro Sekunde und erreicht 91 % des Soll-Werts von 4,35 (1,2) Litern pro Sekunde ($p = 0,031$).

In der forcierten Vitalkapazität (FVC), der maximalen Ausatemflussrate (PEF) und dem maximalen expiratorischen Fluss bei 75 % des ausgeatmeten Volumens (MEF75) können keine signifikanten Unterschiede zu den Soll-Werten festgestellt werden.

4.3.2 Ergebnisse der Lungenvolumina

Wie in Tabelle 3 zu erkennen ist, können auch bei den Parametern zur Lungenvolumina signifikante Unterschiede festgestellt werden. Sowohl die Vitalkapazität (VC) als auch das expiratorische Residualvolumen (ERV) ist im untersuchten Kollektiv höher als der jeweilige Soll-Wert. Die VC der Proband*innen liegt im Median bei 4,93 (1,62) Litern und erreicht somit 105 % des Soll-Werts von 4,88 (1,79) Litern ($p = 0,004$). Das ERV weist einen Median von 1,64 (0,74) Litern auf und entspricht somit 119 % des Soll-Werts von 1,42 Litern. Der Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0,001$). Auch das thorakale Gasvolumen (TGV) ist mit 3,69 (1,09) Litern im Median und einem prozentualen Soll-Wert von 115 % signifikant erhöht ($p < 0,001$).

In den Differenzen der totalen Lungenkapazität (TLC), dem Residualvolumen (RV) und der inspiratorischen Kapazität (IC) konnte keine statistisch signifikante Abweichung festgestellt werden.

4.3.3 Ergebnisse des Atemwegswiderstands und der Diffusionskapazität

Sowohl der Atemwegswiderstand (RAW) als auch der spezifische Atemwegswiderstand (sRAW) weisen im Vergleich zum Soll erhöhte Werte auf. Der RAW des Kollektivs beträgt im Median 0,23 (0,13) kPa·s/l, was 124 % des Soll-Werts entspricht. Die Differenz zum Soll-Wert von 0,2 kPa·s/l ist statistisch signifikant ($p = 0,007$). Mit 144 % des Soll-Werts ist auch der sRAW mit 0,86 (0,46) kPa·s im Median stark erhöht ($p < 0,001$).

Der Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid (TLCO) weist einen Mittelwert von $9,73 \pm 2,32$ mmol/(kPa·min) auf und entspricht 98 % des Soll-Werts von $9,88 \pm 1,71$ mmol/(kPa·min), jedoch ohne statistische Signifikanz ($p = 0,440$).

Tabelle 3: Ergebnisse der Lungenfunktionsparameter zu Termin 1 im Vergleich zu Referenzwerten (n = 53)

Variable	Termin 1	Soll-Wert	%Soll	Sig.
	MW ± SD; MD (IQR)			p
Spirometrie				
FVC (l)	4,85 ± 1,06	4,93 ± 0,9	98	0,239
FEV1 (l)	3,83 ± 0,86	4,03 ± 0,76	95	0,004*
FEV1/FVC (%)	78,91 ± 5,81	81,94 ± 2,12	96	<,001*
PEF (l/s)	8,45 (3,29)	9,19 (2,77)	98	0,333
MEF25 (l/s)	1,61 ± 0,64	2,24 ± 0,42	68	<,001*
MEF50 (l/s)	4,38 ± 1,45	4,99 ± 0,66	87	<,001*
MEF75 (l/s)	7,42 (3,07)	7,94 (2,31)	100	0,969
MEF25-75 (l/s)	3,87 (1,51)	4,35 (1,2)	91	0,031*
Lungenvolumina				
VC (l)	4,93 (1,62)	4,88 (1,79)	105	0,004*
IC (l)	3,32 (1,46)	3,64 (1,25)	98	0,266
ERV (l)	1,64 (0,74)	1,42 (0,44)	119	<,001*
TGV (l)	3,69 (1,09)	3,35 (0,6)	115	<,001*
TLC (l)	6,6 (1,86)	7,14 (1,74)	100	0,877
RV (l)	1,71 (0,85)	1,81 (0,3)	93	0,186
Atemwegswiderstand				
RAW (kPa·s/l)	0,23 (0,13)	0,2 (0)	124	0,007*
sRAW (kPa·s)	0,86 (0,46)	0,67 (0,12)	144	<,001*
Diffusionskapazität				
TLCO (mmol/(kPa·min))	9,73 ± 2,32	9,88 ± 1,71	98	0,440

Werte in MW ± SD (Mittelwert ± Standardabweichung) oder MD (IQR): Median (Interquartilsabstand) gezeigt.

p: Signifikanz, FVC: Forcierte Vitalkapazität in Liter, FEV1: Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde in Liter, FEV1/FVC: Tiffeneau Index (FEV1, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität), PEF: Maximale Ausatemflussrate in Liter pro Sekunde, MEF25/50/75: Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 %, 50 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens in Liter pro Sekunde, MEF25-75: Mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens in Liter pro Sekunde, VC: Vitalkapazität in Liter, IC: Inspiratorische Kapazität in Liter, ERV: Expiratorisches Residualvolumen in Liter, TGV: Thorakale Gasvolumen in Liter, TLC: Totale Lungenkapazität in Liter, RV: Residualvolumen in Liter, RAW: Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde pro Liter, sRAW: Spezifische Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde, TLCO: Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid in Millimol pro Kilopascal pro Minute, Signifikanzen mit „*“ markiert.

4.4 Lungenfunktionsparameter zum zweiten Testzeitpunkt

Nachdem bereits zum ersten Testzeitpunkt signifikante Abweichungen von den Soll-Werten identifiziert wurden, soll mit der Analyse der Untersuchungsergebnisse zu Testzeitpunkt 2 (T2) geprüft werden, ob diese Abweichungen fortbestehen oder andere Veränderungen erkennbar sind. Alle Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet und in Tabelle 4 zusammengefasst. Im Folgenden wird detailliert auf die gemessenen Parameter und ihre Abweichungen von den Referenzwerten des zweiten Untersuchungstermins eingegangen.

4.4.1 Ergebnisse der forcierten Spirometrie

Die Analyse der forcierten Spirometrie zum zweiten Testzeitpunkt zeigt ebenso signifikante Unterschiede im Vergleich zu den Soll-Werten. Das FEV1 beträgt im Median 3,96 (1,35) Liter und erreicht, wie zum ersten Termin, 95 % des Soll-Werts von 4,05 (1,21) Litern. Der Unterschied ist auch hier statistisch signifikant ($p = 0,002$). Der Tiffeneau-Index liegt im Mittel bei $79,45 \pm 6,32$ % und erreicht 97 % des Soll-Werts von 82 ± 2 % ($p = 0,004$). Anders als beim ersten Termin kann auch bei der PEF eine signifikante Abweichung festgestellt werden. Mit einem Median von 8,65 (3,54) Litern pro Sekunde werden 95 % des Soll-Werts von 9,19 Litern pro Sekunde erreicht ($p = 0,034$).

Weitere signifikante Abweichungen können bei MEF25, MEF50 sowie MEF25-75 festgestellt werden. MEF25 liegt im Median bei 1,56 (0,88) Litern pro Sekunde und erreicht nur 70 % des Soll-Werts von 2,21 Litern pro Sekunde ($p < 0,001$). Für den MEF50 wurde ein Mittelwert von $4,35 \pm 1,44$ Litern pro Sekunde gemessen, was 87 % des Soll-Werts von $4,99 \pm 0,66$ Litern entspricht ($p < 0,001$). Die MEF25-75 erreicht im Median 4 (1,7) Liter pro Sekunde und kommt auf 92 % des Soll-Werts von 4,35 Litern ($p = 0,019$).

Keine statistisch signifikante Abweichung zeigt die FVC und der MEF75, wie auch zu Testzeitpunkt 1.

4.4.2 Ergebnisse der Lungenvolumina

In der Untersuchung der Lungenvolumina können mehrere signifikante Unterschiede im Vergleich zu den Soll-Werten festgestellt werden. Die VC liegt im Median bei 5 (1,57) Litern und entspricht 105 % des Soll-Werts von 4,88 Litern ($p = 0,007$). Auch das ERV weist eine signifikante Erhöhung auf. Der Median liegt bei 1,58 (0,92) Litern und erreicht 115 % des Soll-Werts von 1,42 Litern ($p = 0,001$). Und wie auch schon zur Erstuntersuchung ist das TGV mit 3,71 (1,01) im Median weiterhin signifikant höher als der Soll-Wert von 3,35 (0,6)

($p < 0,001$). Der Median der TLC wird mit von 6,61 (1,86) Litern gemessen, was 101 % des Soll-Werts von 7,14 Litern entspricht. Dieser Unterschied ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,587$). Das RV mit einem Mittelwert von $1,76 \pm 0,55$ Litern sowie die IC mit einem Median von 3,27 (1,17) Litern zeigen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zu den Referenzwerten ($p = 0,246$; $p = 0,092$).

4.4.3 Ergebnisse des Atemwegswiderstands und der Diffusionskapazität

Signifikante Abweichungen können auch beim Atemwegswiderstand festgestellt werden. Der RAW liegt bei einem Median von 0,23 (0,16) kPa·s/l und erreicht 115 % des Soll-Werts von 0,2 kPa·s/l ($p = 0,004$). Der sRAW ist ebenfalls signifikant erhöht. Mit einem Median von 0,83 (0,53) kPa·s liegt er bei 125 % des Soll-Werts von 0,67 kPa·s ($p < 0,001$).

Der TLCO zeigt einen Mittelwert von $9,27 \pm 2,33$ mmol/(kPa·min) und erreicht 94 % des Soll-Werts von $9,88 \pm 1,71$ mmol/(kPa·min). Diese negative Abweichung ist im Vergleich zum ersten Testzeitpunkt statistisch signifikant ($p = 0,004$).

Tabelle 4: Ergebnisse der Lungenfunktionsparameter zu Termin 2 im Vergleich zu Referenzwerten (n = 53)

Variable	Termin 2	Soll-Wert	%Soll	Sig.
	MW ± SD; MD (IQR)			p
Spirometrie				
FVC (l)	4,82 ± 1,06	4,93 ± 0,9	97	0,078
FEV1 (l)	3,96 (1,35)	4,05 (1,21)	95	0,002*
FEV1/FVC (%)	79,45 ± 6,32	81,94 ± 2,12	97	0,004*
PEF (l/s)	8,65 (3,54)	9,19 (2,77)	95	0,034
MEF25 (l/s)	1,56 (0,88)	2,21 (0,68)	70	<,001*
MEF50 (l/s)	4,35 ± 1,44	4,99 ± 0,66	87	<,001*
MEF75 (l/s)	7,39 (3,28)	7,94 (2,31)	97	0,312
MEF25-75 (l/s)	4 (1,7)	4,35 (1,2)	92	0,019*
Lungenvolumina				
VC (l)	5 (1,57)	4,88 (1,79)	105	0,007*
IC (l)	3,27 (1,17)	3,64 (1,25)	97	0,092
ERV (l)	1,58 (0,92)	1,42 (0,44)	115	0,001*
TGV (l)	3,71 (1,01)	3,35 (0,6)	112	<,001*
TLC (l)	6,61 (1,86)	7,14 (1,74)	101	0,587
RV (l)	1,76 ± 0,55	1,84 ± 0,24	95	0,246
Atemwegswiderstand				
RAW (kPa·s/l)	0,23 (0,16)	0,2 (0)	115	0,004*
sRAW (kPa·s)	0,83 (0,53)	0,67 (0,12)	125	<,001*
Diffusionskapazität				
TLCO (mmol/(kPa·min))	9,27 ± 2,33	9,88 ± 1,71	94	0,004*

Werte in MW ± SD (Mittelwert ± Standardabweichung) oder MD (IQR): Median (Interquartilsabstand) gezeigt.

p: Signifikanz, FVC: Forcierte Vitalkapazität in Liter, FEV1: Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde in Liter, FEV1/FVC: Tiffeneau Index (FEV1, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität), PEF: Maximale Ausatemflussrate in Liter pro Sekunde, MEF25/50/75: Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 %, 50 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens in Liter pro Sekunde, MEF25-75: Mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens in Liter pro Sekunde, VC: Vitalkapazität in Liter, IC: Inspiratorische Kapazität in Liter, ERV: Expiratorisches Residualvolumen in Liter, TGV: Thorakale Gasvolumen in Liter, TLC: Totale Lungenkapazität in Liter, RV: Residualvolumen in Liter, RAW: Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde pro Liter, sRAW: Spezifische Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde, TLCO: Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid in Millimol pro Kilopascal pro Minute, Signifikanzen mit „*“ markiert.

4.5 Korrelationen

In Tabelle 5 werden die Korrelationen zwischen den erhobenen Lungenfunktionsparametern zum Testzeitpunkt 1 und potenziellen Einflussfaktoren wie Alter, Größe, Gewicht, Nikotinkonsum, Sportaktivität und Schwere der Erkrankung dargestellt. Es werden sowohl die Signifikanzen der Datenpaare (p) als auch die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten (r) angegeben. Einige signifikante Korrelationen lassen sich unter anderem zwischen dem Alter, der Größe sowie dem Gewicht gepaart mit mehreren spirometrischen Parametern feststellen. Dies unterstreicht den Einfluss anthropometrischer Faktoren sowohl auf Atemflussgeschwindigkeiten als auch auf statische wie dynamische Lungenvolumina. Hierbei auffallend ist, dass weder bei Alter, Größe noch Gewicht ein signifikanter Zusammenhang zu RAW und sRAW gemessen werden konnte. Der TLCO korreliert hingegen mit dem Alter ($p = 0,002$, $r = -0,418$), der Größe ($p < 0,001$, $r = 0,717$) und dem Gewicht ($p < 0,001$, $r = 0,492$).

Weder der Nikotinkonsum, beschrieben als die Summe der täglich gerauchten Zigaretten, noch die Gesamtanzahl der Raucherjahre zeigen signifikante Korrelationen mit den erhobenen Lungenfunktionsparametern.

Ähnlich wie bei den anthropometrischen Faktoren können auch bei der körperlichen Aktivität pro Woche signifikante Korrelationen mit zahlreichen Lungenfunktionsparametern festgestellt werden. Vor allem die spirometrischen Parameter, unter anderem FEV1 ($p = 0,005$, $r = 0,384$), PEF ($p = 0,022$, $r = 0,315$) und MEF25-75 ($p = 0,001$, $r = 0,44$), stehen mit der Sportausübung pro Woche in einem gering positiven Zusammenhang. Auch mit dem TLCO kann eine positive Korrelation ($p = 0,01$, $r = 0,35$) identifiziert werden, was auf eine Verbesserung der Diffusionskapazität bei Steigerung der Sportaktivität pro Woche hinweist.

Die Schwere der Erkrankung korreliert mit dem Tiffeneau-Index ($p = 0,015$, $r = -0,334$), MEF50 ($p = 0,029$, $r = -0,3$) sowie TGV ($p = 0,04$, $r = 0,283$) signifikant. Mit anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies, dass je schwerer der Krankheitsverlauf der Proband*innen gewesen ist, desto niedrigere Messwerte werden in den Parametern FEV1/FVC und MEF50 erzielt. Das TGV nimmt mit zunehmender Schwere signifikant zu. Abgesehen davon können keine weiteren signifikanten Zusammenhänge zwischen der Schwere der Erkrankung und den erhobenen Lungenfunktionsparametern festgestellt werden.

Tabelle 5: Korrelationstabelle aller Lungenfunktionsparameter und den für die Fragestellung relevanten Einflussfaktoren zu Termin 1

		FVC	FEV1	FEV1 /FVC	PEF	MEF 25	MEF 50	MEF 75	MEF 25-75	VC	IC	ERV	TGV	TLC	RV	RAW	sRAW	TLCO
Alter	p	0,006	0,001	0,072	0,012	<,001	0,106	0,192	0,004	0,007	0,103	<,001	0,294	0,221	0,004	0,938	0,996	0,002
	r	-,371	-,439	-,249	-,343	-,535	-,225	-,182	-,389	-,367	-,227	-,446	,147	-,171	,385	0,011	0,001	-,418
Größe	p	<,001	<,001	0,388	<,001	0,015	0,012	<,001	0,002	<,001	<,001	0,004	0,009	<,001	0,225	0,746	0,163	<,001
	r	,775	,763	-,121	,685	,333	,343	,513	,422	,834	,759	,389	,353	,785	,169	-,046	,194	,717
Gewicht	p	<,001	<,001	0,350	<,001	0,537	0,055	0,003	0,075	<,001	<,001	0,747	0,293	<,001	0,168	0,554	0,693	<,001
	r	,512	,477	-,131	,449	,087	0,265	,396	,247	,544	,619	,045	,147	,503	0,192	-,083	,055	,492
Zigaretten pro Tag	p	0,154	0,163	0,754	0,262	0,168	0,665	0,935	0,380	0,146	0,364	0,066	0,403	0,066	0,877	0,127	0,331	0,127
	r	-,201	-,196	-,045	-,158	-,194	-,062	-,012	-,124	-,205	-,129	-,257	-,118	-,257	-,022	,214	,138	-,214
Raucher- jahre	p	0,241	0,186	0,540	0,326	0,161	0,627	0,851	0,393	0,210	0,558	0,056	0,997	0,138	0,697	0,382	0,496	0,253
	r	-,164	-,184	-,086	-,138	-,195	-,068	-,026	-,120	-,175	-,082	-,264	,001	-,206	,055	,123	,096	-,160
Sport h/Woche	p	0,013	0,005	0,013	0,022	0,001	0,002	0,005	0,001	0,030	0,113	0,097	0,647	0,535	0,015	0,570	0,382	0,01
	r	,340	,384	,338	,315	,425	,410	,384	,440	,298	,220	,230	,064	,087	-,334	-,080	-,122	,350
Schwere d. Erkrankung	p	0,952	0,415	0,015	0,956	0,071	0,029	0,120	0,070	0,854	0,874	0,704	0,04	0,995	0,556	0,509	0,750	0,882
	r	,009	-,114	-,334	0,008	-,250	-,300	-,216	-,251	,026	,022	-,053	,283	,001	,083	-,093	-,045	,021

Zusammenhänge in p: Signifikanz und r: Korrelationskoeffizient gezeigt. Signifikanzen fett markiert.

FVC: Forcierte Vitalkapazität, FEV1: Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde, FEV1/FVC: Tiffeneau Index (Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität), PEF: Maximale Ausatemflussrate, MEF25/50/75: Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 %, 50 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens, MEF25-75: Mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens, VC: Vitalkapazität, IC: Inspiratorische Kapazität, ERV: Expiratorisches Residualvolumen, TGV: Thorakale Gasvolumen, TLC: Totale Lungenkapazität, RV: Residualvolumen, RAW: Atemwegswiderstand, sRAW: Spezifische Atemwegswiderstand, TLCO: Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid.

4.6 Lungenfunktionsparameter im zeitlichen Verlauf

Die Testergebnisse wurden im Rahmen dieser Masterarbeit sowohl im Querschnitt als auch im Längsschnitt analysiert. Um eine potenzielle Regeneration der Lungenfunktion im zeitlichen Verlauf festzustellen, wurden die Messwerte der Erstuntersuchung mit den Ergebnissen des Follow-Up Termins verglichen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der analysierten Lungenfunktionsparameter präsentiert und in Tabelle 6 übersichtlich zusammengefasst.

Die Werte der FVC zeigen eine minimale Abnahme von $4,85 \pm 1,06$ Litern auf $4,82 \pm 1,06$ Liter ($p = 0,141$), jedoch ohne statistische Signifikanz. Auch das FEV1 sowie der Tiffeneau-Index zeigen nur geringe, statistisch nicht signifikante Abweichungen in beiden Messwerten.

Die PEF zeigt einen leichten Rückgang von $8,54 \pm 2,03$ Litern pro Sekunde auf $8,29 \pm 2,1$ Liter pro Sekunde, ohne statistische Signifikanz ($p = 0,059$). MEF25, MEF50, MEF75 sowie MEF25-75 weisen ebenfalls keine signifikanten Änderungen auf.

Bei allen Werten der statischen sowie dynamischen Lungenvolumina können nur minimale, nicht statistisch signifikante Veränderungen gemessen werden. Auch der RAW bleibt mit einem Median von $0,23 \text{ kPa}\cdot\text{s/l}$ unverändert ($p = 0,355$). Der sRAW weist ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten auf ($p = 0,437$).

Der TLCO zeigt als einziger Parameter eine signifikante Veränderung. Der Wert nimmt im zeitlichen Verlauf von $9,73 \pm 2,32 \text{ mmol}/(\text{kPa}\cdot\text{min})$ auf $9,27 \pm 2,33 \text{ mmol}/(\text{kPa}\cdot\text{min})$ ab ($p = 0,04$).

Tabelle 6: Lungenfunktionsparameter von Termin 1 und Termin 2 im Vergleich (n = 53)

Variable	Termin 1	Termin 2	Sig.
	MW ± SD; MD (IQR)		p
Spirometrie			
FVC (l)	4,85 ± 1,06	4,82 ± 1,06	0,141
FEV1 (l)	3,8 (1,44)	3,96 (1,35)	0,438
FEV1/FVC (%)	78,91 ± 5,81	79,45 ± 6,32	0,44
PEF (l/s)	8,54 ± 2,03	8,29 ± 2,1	0,059
MEF25 (l/s)	1,56 (0,9)	1,56 (0,88)	0,873
MEF50 (l/s)	4,38 ± 1,45	4,35 ± 1,44	0,971
MEF75 (l/s)	7,53 ± 1,98	7,3 ± 1,92	0,121
MEF25-75 (l/s)	3,99 ± 1,29	3,97 ± 1,29	0,822
Lungenvolumina			
VC (l)	4,92 ± 1,05	4,9 ± 1,05	0,235
IC (l)	3,31 ± 0,89	3,26 ± 0,76	0,944
ERV (l)	1,64 ± 0,57	1,63 ± 0,67	0,866
TGV (l)	3,72 ± 0,82	3,62 ± 0,78	0,232
TLC (l)	6,6 ± 1,28	6,67 ± 1,19	0,579
RV (l)	1,71 (0,85)	1,69 (0,87)	0,659
Atemwegswiderstand			
RAW (kPa·s/l)	0,23 (0,13)	0,23 (0,16)	0,355
sRAW (kPa·s)	0,86 (0,46)	0,83 (0,53)	0,437
Diffusionskapazität			
TLCO (mmol/(kPa·min))	9,73 ± 2,32	9,27 ± 2,33	0,04*

Werte in MW \pm SD (Mittelwert \pm Standardabweichung) oder MD (IQR): Median (Interquartilsabstand) gezeigt.

p: Signifikanz, FVC: Forcierte Vitalkapazität in Liter, FEV1: Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde in Liter, FEV1/FVC: Tiffeneau Index (FEV1, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität), PEF: Maximale Ausatemflussrate in Liter pro Sekunde, MEF25/50/75: Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 %, 50 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens in Liter pro Sekunde, MEF25-75: Mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens in Liter pro Sekunde, VC: Vitalkapazität in Liter, IC: Inspiratorische Kapazität in Liter, ERV: Expiratorisches Residualvolumen in Liter, TGV: Thorakale Gasvolumen in Liter, TLC: Totale Lungenkapazität in Liter, RV: Residualvolumen in Liter, RAW: Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde pro Liter, sRAW: Spezifische Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde, TLCO: Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid in Millimol pro Kilopascal pro Minute, Signifikanzen mit „*“ markiert.

4.7 Absolute Werte jenseits der Grenzwerte der Referenzen

Die Untersuchung der absoluten Werte ausgewählter Lungenfunktionsparameter jenseits der Grenzwerte *Lower Limit of Normal* (LLN) und *Upper Limit of Normal* (ULN) ermöglicht eine detaillierte Betrachtung von Abweichungen in beiden Beobachtungszeiträumen. Tabelle 7 zeigt die Anzahl der Proband*innen, deren gemessene Werte die Normalbereiche zum ersten und zum zweiten Testzeitpunkt unter- oder überschreiten und liefert somit Erkenntnisse über Anpassungen oder anhaltende Einschränkungen der Lungenfunktion.

Die Analyse zeigt, dass die Parameter FVC, FEV1 und FEV1/FVC im Laufe der beiden Beobachtungszeiträume nur geringe Änderungen in der Anzahl der Proband*innen mit Werten unterhalb des LLN verzeichnen. Für PEF steigt die Anzahl mit Werten unterhalb des LLN von 6 (11,3 %) zum Ersttermin auf 10 (18,9 %) zum Zweittermin deutlich an. Im Bereich der Lungenvolumina nimmt die Anzahl der Proband*innen mit einer TLC unterhalb des LLN von 4 (7,5 %) auf 3 (5,7 %) ab. Der RAW zeigt eine Erhöhung in der Anzahl der Fälle oberhalb des ULN von 12 (22,6 %) zum Ersttermin auf 15 (28,3 %) zum Zweittermin.

Besonders hervorzuheben ist die Entwicklung des TLCO, bei dem die Anzahl der Proband*innen mit Werten unterhalb von 80 % des Soll-Werts von 4 (7,5 %) auf 8 (15,1 %) ansteigt. Die Verdopplung der Fälle deutet auf eine wesentliche Verschlechterung der Diffusionskapazität im Verlauf des Beobachtungszeitraums hin.

Die Ergebnisse verdeutlichen Veränderungen in den gemessenen Lungenfunktionsparametern bis etwa sechs Monate nach der COVID-19-Erkrankung, insbesondere in Bezug auf die zunehmenden Einschränkungen der Diffusionskapazität und des Atemwegswiderstands.

Tabelle 7: Absolute Werte ausgewählter Lungenfunktionsparameter und Anzahl der Proband*innen jenseits der Grenzwerte des Normbereichs zu beiden Terminen (n = 53)

Variable	Ersttermin	Zweittermin	Sig.
	MW \pm SD; MD (IQR); n (%)		p
Spirometrie			
FVC (l)	4,85 \pm 1,06	4,82 \pm 1,06	0,141
FVC < LLN	3 (5,7%)	2 (3,8%)	
FEV1 (l)	3,8 (1,44)	3,96 (1,35)	0,438
FEV1 < LLN	6 (11,3%)	5 (9,4%)	
FEV1/FVC (%)	78,91 \pm 5,81	79,45 \pm 6,32	0,44
FEV1/FVC < LLN	5 (9,4%)	3 (5,7%)	
PEF (l/s)	8,54 \pm 2,03	8,29 \pm 2,1	0,059
PEF < LLN	6 (11,3%)	10 (18,9%)	
Lungenvolumina			
VC (l)	4,92 \pm 1,05	4,9 \pm 1,05	0,235
VC < LLN	1 (1,9%)	-	
TLC (l)	6,6 \pm 1,28	6,67 \pm 1,19	0,579
TLC < LLN	4 (7,5%)	3 (5,7%)	
Atemwegswiderstand			
RAW (kPa·s/l)	0,23 (0,13)	0,23 (0,16)	0,355
RAW > ULN	12 (22,6%)	15 (28,3%)	
Diffusionskapazität			
TLCO (mmol/(kPa·min))	9,73 \pm 2,32	9,27 \pm 2,33	0,04*
TLCO < 80%	4 (7,5%)	8 (15,1%)	

Werte in MW \pm SD (Mittelwert \pm Standardabweichung), MD (IQR): Median (Interquartilsabstand) oder n (%): Anzahl (Prozent des Gesamtkollektivs) gezeigt

p: Signifikanz, LLN: unterer Grenzwert des Normalbereichs, ULN: Oberer Grenzwert des Normalbereichs, FVC: Forcierte Vitalkapazität in Liter, FEV1: Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde in Liter, FEV1/FVC: Tiffeneau Index (FEV1, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität), PEF: Maximale Ausatemflussrate in Liter pro Sekunde, VC: Vitalkapazität in Liter, TLC: Totale Lungenskapazität in Liter, RAW: Atemwegswiderstand in Kilopascal-Sekunde pro Liter, TLCO: Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid in Millimol pro Kilopascal pro Minute, Signifikanzen mit „*“ markiert.

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, die Auswirkungen einer COVID-19-Erkrankung auf die Lungenfunktion sportlich aktiver Erwachsener zu analysieren und diese sowohl im Querschnitt als auch im zeitlichen Verlauf differenziert zu bewerten. Die Besonderheit der Studie liegt vor allem im körperlich aktiven Studienkollektiv, das bislang in der Forschung zur pulmonalen Regeneration nach COVID-19 im Vergleich zu Hochrisikogruppen nur begrenzt betrachtet wurde. Die Ergebnisse liefern damit einen Beitrag zur Einschätzung, inwieweit auch in dieser Gruppe funktionelle Einschränkungen auftreten können und inwiefern sich diese noch Monate nach einer Infektion verändern können.

In der folgenden Diskussion wird zunächst die Lungenfunktion unmittelbar nach überstandener COVID-19-Erkrankung im Vergleich zu Normwerten beleuchtet. Außerdem wird der potenziell positive Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Lungenfunktion nach COVID-19 analysiert. Anschließend werden die funktionellen Veränderungen der Lunge etwa sechs Monate nach einer Infektion mit SARS-CoV-2 interpretiert und mit Erkenntnissen der aktuellen Literatur verglichen. Im vierten Teil folgt eine Betrachtung der Lungenfunktion im zeitlichen Verlauf zwischen Erstuntersuchung und dem Follow-Up etwa vier Monate später.

Abschließend werden zentrale Limitationen der Studie diskutiert, um methodische Aspekte kritisch zu reflektieren und ein besseres Verständnis für die Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen.

5.1 Lungenfunktion zwei Monate nach COVID-19

Im Rahmen der Querschnittsanalyse zum ersten Untersuchungszeitpunkt (im Median 67 Tage nach der Erkrankung) zeigen sich bei sportlich aktiven Erwachsenen signifikante funktionelle Einschränkungen der Lungenfunktion im Vergleich zu Normwerten. Besonders betroffen sind Parameter der Atemflussgeschwindigkeiten sowie des Atemwegswiderstands.

Nach dem Skriptum der Österreichischen Gesellschaft für Pneumologie dient vor allem der Tiffeneau-Index (FEV1/FVC) als eindeutiges Kriterium für die Feststellung von obstruktiven Ventilationsstörungen. Aber auch die reduzierten maximalen expiratorischen Flüsse bei 25 % und 50 % des ausgeatmeten Volumens (MEF25, MEF50) sowie eine verringerte mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens (MEF25–75) deuten auf eine Verengung der Atemwege hin (Amelunxen et al.,

2023). Diese werden primär zur Klassifizierung von Veränderungen der kleinen Atemwege (kleiner als zwei Millimeter Durchmesser) verwendet.

Im untersuchten Kollektiv weisen sowohl FEV1/FVC (96 %Soll; $p < 0,001$) also auch FEV1 (95 %Soll; $p = 0,004$) signifikant reduzierte Werte im Vergleich zur Norm auf. Besonders auffällig jedoch sind die deutlich reduzierten MEF25/50/75 sowie MEF25-75. Dabei stellen MEF25 mit nur 68 % der Norm ($p < 0,001$), MEF50 mit 87 % der Norm ($p < 0,001$) und MEF25-75 mit 91 % der Norm ($p = 0,031$) signifikante funktionelle Einschränkungen der Atemflüsse dar und sind direkte Zeichen für eine Obstruktion der kleinen Atemwege (Amelunxen et al., 2023).

Neben den reduzierten spirometrischen Parametern können aber auch signifikante Erhöhungen des Atemwegswiderstands (RAW) und des spezifischen Atemwegswiderstands (sRAW) festgestellt werden. Das unterstreicht eine potenzielle Obstruktion der kleinen Atemwege bei sportlich aktiven Erwachsenen mit moderatem Krankheitsverlauf zwei Monate nach einer COVID-19-Erkrankung.

Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse des ersten Testzeitpunkts keine Hinweise auf restriktive Lungenfunktionsstörungen. Die totale Lungkapazität (TLC) ist innerhalb des Normbereichs, während die Vitalkapazität (VC) sogar signifikant über dem Soll liegt. Auch der Transferfaktor für Kohlenmonoxid (TLCO) ist zum ersten Testzeitpunkt unauffällig, was wiederum für einen intakten alveolokapillären Gasaustausch spricht.

In der aktuellen Literatur wurde bereits festgehalten, dass signifikant reduzierte Lungenfunktionsparameter drei Monate nach einer COVID-19-Erkrankung nicht ausschließlich bei Patient*innen nach Hospitalisierung zu beobachten sind. Klos et al. (2024) zeigten, dass auch Patient*innen mit milden bis moderaten Symptomen drei Monate nach COVID-19 signifikant reduzierte Lungenfunktionswerte aufwiesen, insbesondere einen MEF25 von etwa 59 % und einen MEF75 von nur 50 % des zu erreichenden Soll-Werts. Zwar waren TLC, FVC sowie DLCO bei Patient*innen mit schwerem Verlauf deutlich stärker reduziert als bei jenen mit milder bis moderater Symptomatik. Dennoch wurden bei den Parametern der kleinen Atemwege auch in dieser Gruppe funktionelle Einschränkungen im Vergleich zu Normwerten festgestellt (Klos et al., 2024). Diese Ergebnisse wurden durch signifikante Korrelationen zwischen Atemflussparametern (MEF25, MEF50) und strukturellen Veränderungen in der Computertomographie gestützt (Klos et al., 2024).

5.2 Körperliche Aktivität und Lungenfunktion nach COVID-19

Zur differenzierten Analyse der Lungenfunktionsparameter zum ersten Testzeitpunkt wurden mögliche Einflussfaktoren in die Auswertung miteinbezogen. Dabei zeigt sich, dass ein höheres Maß an körperlicher Aktivität in Stunden pro Woche signifikant mit besseren Lungenfunktionswerten etwa zwei Monate nach einer COVID-19-Erkrankung einhergeht. Positive Korrelationen finden sich unter anderem mit FVC, FEV1, FEV1/FVC, allen untersuchten MEF-Parametern sowie TLCO. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein höheres Aktivitätsniveau potenziell einen positiven Einfluss auf eine obstruktive Beeinträchtigung der Atemwege nach einer COVID-19-Erkrankung haben kann. Zudem spricht die positive Korrelation mit TLCO für eine verbesserte Diffusionskapazität bei körperlich aktiven Personen. Außerdem korreliert körperliche Aktivität negativ mit RAW, was eine geringere periphere Verengung der Atemwege nach einer SARS-CoV-2-Infektion bei Personen mit höherer sportlicher Aktivität unterstreicht. Diese Erkenntnisse stützen die Hypothese, dass das Ausmaß der körperlichen Aktivität in einem positiven Zusammenhang mit der Lungenfunktion nach einer COVID-19-Erkrankung steht und deuten auf eine geringere funktionelle Einschränkung der Lunge bei sportlich Aktiven hin. Mit dieser Bestätigung kann angenommen werden, dass regelmäßige körperliche Aktivität einen potenziell schützenden Effekt auf die Lungenfunktion nach einer SARS-CoV-2-Infektion haben kann.

Um jedoch Aussagen über den gezielten Einsatz von körperlicher Aktivität in der pulmonalen Rehabilitation treffen zu können, müssen spezifische Trainingsprotokolle im Rehabilitationsprozess untersucht werden. In diesem Zusammenhang zeigte die Meta-Analyse von Zheng et al. (2024), dass eine körperlich-übungsbasierte Rehabilitation eine effektive und sichere Maßnahme zur Behandlung von Long-COVID-Symptomen darstellt. Es konnten signifikante Verbesserungen in den Parametern DLCO, FEV1 und FEV1/FVC nach physischer Rehabilitation festgehalten werden (Zheng et al., 2024).

Außerdem kann auch der Einfluss von anthropometrischen Faktoren wie Alter, Größe und Gewicht erwartungsgemäß bestätigt werden. Anhand der Ergebnisse wird ein höheres Alter mit einer Verschlechterung einiger Lungenfunktionsparameter assoziiert. Die Körpergröße weist mit nahezu allen Parametern die meisten signifikanten Korrelationen auf und entspricht den physiologischen Erwartungen auch nach einer COVID-19-Erkrankung. Das Gewicht steht vor allem mit statischen Lungenvolumina in einem positiven Zusammenhang.

Dabei auffallend ist, dass alle drei anthropometrischen Faktoren mit TLCO korrelieren, jedoch weder mit RAW noch sRAW ein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt werden kann. Ebenso können in dieser Stichprobe keine statistisch relevanten Auswirkungen vom Ausmaß des Zigarettenkonsums sowie der Anzahl an Raucherjahren auf mögliche funktionelle Einschränkungen der Lunge gefunden werden. Mit dem Schweregrad der Erkrankung korrelieren nur FEV1/FVC und MEF50 signifikant, was allerdings vermehrt obstruktive Indikatoren bei schweren Krankheitsverläufen vermuten lässt.

5.3 Lungenfunktion sechs Monate nach COVID-19

Um eine umfangreiche Analyse zu den Auswirkungen von COVID-19 auf die Lungenfunktion zu geben und potenziell persistierende Folgen zu definieren, ist es notwendig, ein Kollektiv zumindest zu einem weiteren Testtermin zu untersuchen. Im Rahmen dieser Studie fand der zweite Untersuchungstermin im Median 178 Tage, also in etwa sechs Monate, nach der vorangegangenen COVID-19-Erkrankung statt. Zur differenzierten Betrachtung der Testergebnisse werden, wie bereits im Ergebnisteil beschrieben, die pulmonalen Parameter sowohl mit Referenzwerten als auch mit den jeweiligen Ausgangswerten am ersten Testtag verglichen. Interessant ist, dass auch Monate nach einer Infektion mit SARS-CoV-2 anhaltende Abweichungen in der Lungenfunktion bei sportlich Aktiven im Vergleich zu Normwerten festzustellen sind. So sind FEV1 (95 %Soll; $p = 0,002$) sowie der Tiffeneau-Index (97 %Soll; $p = 0,004$) auch rund vier Monate später signifikant vermindert. Auch MEF25, MEF50 sowie MEF25–75 sind erneut signifikant reduziert sowie der Atemwegswiderstand erhöht, was eine anhaltende funktionelle Einschränkung der Atemwege bestätigt. Ähnliche Ergebnisse konnten Klos et al. (2024) in ihrer Studie zur Lungenfunktion, CT-Veränderungen und Erkrankung der kleinen Atemwege bei Patient*innen bis neun Monate nach COVID-19 festhalten. Auffallend war, dass auch hier Patient*innen mit moderatem Krankheitsverlauf signifikante Einschränkungen des MEF25 bis zu neun Monaten nach COVID-19 zeigten (Klos et al., 2024). Diese Erkenntnisse unterstreichen die Analysen dieser Masterarbeit und belegen, dass auch Monate nach einer Infektion mit SARS-CoV-2 funktionelle Beeinträchtigungen im Bereich der kleinen Atemwege bestehen können.

Wie auch schon zum ersten Testtermin konnten auch vier Monate später keine restriktiven Indikatoren wie eine reduzierte TLC festgestellt werden. Einen auffälligen Verlauf hingegen zeigt der TLCO. Während der Transferfaktor für Kohlenmonoxid zu T1 noch unauffällig ist,

kann im Median 178 Tage nach Erkrankung eine signifikante Reduktion gemessen werden (94 %Soll; $p = 0,004$). Bisherige Studien belegten zwar, dass die Diffusionskapazität auch Monate nach einer COVID-19-Erkrankung eingeschränkt sein kann. So konnten Van Willigen et al. (2023) zeigen, dass 26 % von insgesamt 195 Proband*innen sechs Monate nach der Infektion mit SARS-CoV-2 eine reduzierte DLCO aufwiesen. Selbst ein Jahr nach der Erkrankung wurde bei weiterhin 25 % der Teilnehmer*innen eine DLCO unterhalb des LLN festgestellt (Van Willigen et al., 2023). Diese Erkenntnisse werden von Wu et al. (2021) gestützt, die ebenso eine signifikante Reduktion der Diffusionskapazität in ihrem Kollektiv drei, sechs und zwölf Monate nach COVID-19 dokumentierten.

Interessant ist jedoch, dass die Abweichungen des TLCO zur Norm im untersuchten Kollektiv dieser Masterarbeit erst etwa sechs Monate nach der COVID-19-Erkrankung gemessen werden konnten. Sonnweber et al. (2020) zeigen, dass anhaltende Störungen der Eisenhomöostase auch noch Monate nach einer akuten SARS-CoV-2-Infektion bestehen und mit strukturellen sowie funktionellen Lungenschäden in Zusammenhang stehen können. Patient*innen mit erhöhtem Ferritin, ein intrazelluläres Protein für die Speicherung von Eisen, wiesen signifikant häufiger pathologische CT-Befunde sowie eine eingeschränkte körperliche Leistungsfähigkeit auf. Möglicherweise könnte eine Eisenüberladung noch Monate später zu einem gestörten alveolokapillären Gasaustausch und somit zu einer verzögerten Diffusionsstörung beitragen (Sonnweber et al., 2020).

5.4 Lungenfunktion im zeitlichen Verlauf

Zur detaillierten Überprüfung der Hypothese, die Lungenfunktion würde sich im gesamten Beobachtungszeitraum regenerieren, werden die Testergebnisse vom Testzeitpunkt 2 nicht nur mit den Normwerten, sondern auch mit den Ergebnissen der Erstuntersuchung verglichen und auf signifikante Unterschiede geprüft. Es können fast keine statistisch signifikanten Differenzen der Lungenfunktionsparameter zwischen dem ersten Testzeitpunkt im Median 67 Tage und dem zweiten Testzeitpunkt im Median 178 Tage nach Erkrankung festgestellt werden. Weder bei Flussgeschwindigkeiten noch bei statischer sowie dynamischer Lungenvolumina zeigen sich signifikante Verbesserungen. Auch der RAW sowie sRAW bleibt im untersuchten Kollektiv unverändert erhöht, was auf eine anhaltende funktionelle Atemwegseinschränkung über sechs Monate hinweg hindeuten könnte.

Aktuelle Studien zeigen, dass funktionelle Beeinträchtigungen der Lunge nach einer COVID-19-Erkrankung zwar zunächst bestehen bleiben, jedoch im zeitlichen Verlauf

regenerieren können (Orzes et al., 2021; Sonnweber et al., 2021; Van Willigen et al., 2023; Wu et al., 2021). Besonders bei Personen mit milden bis moderaten Symptomen ist davon auszugehen, dass unmittelbar nach der Infektion auftretende Einschränkungen der Lungenfunktion innerhalb eines Jahres vollständig rückläufig sein können. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse von Lewis et al. (2021) gestützt. In einem Kollektiv von 80 Personen mit überwiegend mildem bis moderatem Krankheitsverlauf konnten keine signifikanten Unterschiede in den Lungenfunktionsparametern FVC, FEV1, FEV1/FVC, TLC und TLCO im Vergleich mit Werten vor der Erkrankung festgestellt werden (Lewis et al., 2021).

Im Gegensatz dazu konnten Petersen et al. (2022) feststellen, dass Patient*innen mit mildem bis moderatem Krankheitsverlauf auch von anhaltenden Erhöhungen des spezifischen Atemwegswiderstands betroffen sein können. Die Beeinträchtigung war noch etwa neun Monate nach der Infektion mit SARS-CoV-2 nachweisbar (Petersen et al., 2022). Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Masterarbeit und unterstreichen eine potenzielle postinfektiöse Atemwegsdysfunktion bei Patient*innen mit milden bis moderaten Symptomen.

Der TLCO weist als einziger Parameter eine signifikante Veränderung auf ($p = 0,04$). Der Transferfaktor zeigt eine signifikante Reduktion im Median vier Monate nach der Erstuntersuchung und bestätigt die einschlägigen Erkenntnisse der Querschnittsanalysen. Diese Entwicklung widerspricht der Hypothese und deutet auf eine zunehmende funktionelle Beeinträchtigung des alveolokapillären Gasaustauschs im zeitlichen Verlauf hin.

Chen et al. (2022) konnten feststellen, dass insbesondere die ersten drei Monate nach einer COVID-19-Erkrankung eine entscheidende Phase für die Regeneration geschädigter Kapillaren und des Alveolarvolumens darstellen. In diesem Zeitraum wurde eine deutliche Reduktion der Diffusionsstörung beobachtet. Nach sechs Monaten fiel die Regeneration jedoch deutlich geringer aus, was auf eine verlangsamte oder abgeschlossene Wiederherstellung der alveolokapillären Struktur hinweisen kann (Chen et al., 2022). Diese Erkenntnisse weichen wiederum von den Ergebnissen der vorliegenden Studie ab, in der eine signifikante Reduktion des TLCO erst rund sechs Monate nach Erkrankung festgestellt wurde. Eine weitere mögliche Erklärung könnte sein, dass die Störung des alveolären Gasaustauschs nicht ausschließlich aufgrund struktureller Schäden, sondern auch durch verzögerte immunologische Prozesse beeinflusst werden kann (Proal & VanElzakker, 2021).

Aufgrund der überwiegend stabilen Messwerte der Lungenfunktion im zeitlichen Verlauf bis sechs Monate nach COVID-19 ist eine differenzierte Betrachtung der potenziell pathologischen Fälle außerhalb des Normbereichs notwendig. Auffallend ist, dass sowohl FEV1 und FEV1/FVC einen leichten Rückgang der absoluten Fälle unterhalb des LLN verzeichnen können. Im Gegensatz dazu wird bei den Parametern PEF, RAW und TLCO ein deutlicher Anstieg pathologischer Fälle festgestellt. Insbesondere steigt die Anzahl der PEF < LLN-Fälle von 6 bei der Erstuntersuchung auf 10 zum zweiten Testtermin an. Zudem hat sich die Anzahl der Personen mit pathologisch niedrigem TLCO verdoppelt.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass die Lungenfunktion bei sportlich aktiven Erwachsenen auch sechs Monate nach COVID-19 nicht vollständig regeneriert ist. Die anhaltenden Veränderungen betreffen vor allem Parameter der kleinen Atemwege, des Atemwegswiderstands sowie der Diffusionskapazität und unterstreichen die potenziellen langfristigen Auswirkungen einer COVID-19-Erkrankung auf das pulmonale System bei sportlich aktiven Personen.

5.5 Limitationen der Studie

Die gegenständige Masterarbeit zeigt einschlägige Erkenntnisse zu den Auswirkungen von COVID-19 auf die Lungenfunktion in einem sportlich aktiven Kollektiv. Dennoch sind einige Limitationen zu berücksichtigen, die die Vergleichbarkeit und Aussagekraft der Ergebnisse potenziell einschränken.

Die zeitlichen Abstände zwischen der Infektion mit SARS-CoV-2 und dem ersten Testtermin sowie zwischen den beiden Testterminen werden zwar durch Ein- und Ausschlusskriterien begrenzt, weisen aber dennoch große Unterschiede innerhalb des Kollektivs auf. Die Erstuntersuchung fand im Median 67 Tage nach der Erkrankung mit COVID-19 statt, jedoch mindestens nach 19 und maximal nach 170 Tagen. Eine ähnlich große Zeitspanne ist zwischen den einzelnen Testzeitpunkten zu beobachten. Im Median wurden die Proband*innen nach 111 Tagen zum Follow-Up Termin gebeten, mindestens jedoch nach 83 Tagen und maximal nach 179 Tagen. Diese Unregelmäßigkeiten im Untersuchungszeitraum erschweren die Interpretation der Testergebnisse und vor allem den Vergleich mit den Erkenntnissen der aktuellen Literatur.

Ein weiterer limitierender Faktor ist die geringe Stichprobengröße, die ebenfalls durch strenge Ein- und Ausschlusskriterien stark reguliert wird. Zwar ist die Eingrenzung des Kollektivs auf ausschließlich sportlich aktive Personen, die alle Lungenfunktionstests

innerhalb von 6 Monaten absolviert haben, notwendig, um die wissenschaftliche Relevanz der Studie zu stützen. Jedoch würde eine größere Studienpopulation möglicherweise zu einer höheren statistischen Aussagekraft beitragen. Zudem können keine individuellen Lungenfunktionswerte der Proband*innen vor der COVID-19-Erkrankung in der Analyse berücksichtigt werden. Die Querschnittsanalyse der Ergebnisse basiert somit ausschließlich auf den GLI-2012-Normwerten. Dadurch besteht keine Möglichkeit, die Lungenfunktion der Proband*innen mit persönlichen Ausgangswerten zu vergleichen.

Abschließend ist zu erwähnen, dass im Rahmen der COVID-Studie keine Intervention zwischen den Untersuchungsterminen durchgeführt wurde. Hier ist anzunehmen, dass gezielte Maßnahmen im Beobachtungszeitraum zu einer Verbesserung einzelner Parameter und damit zur Regeneration der Lungenfunktion beitragen könnten (Brandao-Rangel et al., 2025). Diese Annahme wird durch die Studie von Brandao-Rangel et al. (2025) zum Einsatz von spezifischen Programmen zur pulmonalen Rehabilitation gestützt.

Zu den Stärken der Studie zählt zum einen die Breite der Studienpopulation. Trotz strenger Ein- und Ausschlusskriterien umfasst die Untersuchung Personen im Alter von 20 bis 59 Jahren. Auch das Verhältnis zwischen männlicher und weiblicher Beteiligung ist mit 33 Männern und 20 Frauen relativ ausgeglichen. Ein weiterer Aspekt ist die hohe methodische Qualität der Untersuchungen. Es wurde großer Wert auf die Validität und Reproduzierbarkeit aller Testergebnisse gelegt. Zudem kann durch die Verwendung des Bodyplethysmographen eine umfassende Analyse der Lungenfunktion nach einer COVID-19-Erkrankung durchgeführt werden.

Die dargestellten Limitationen sowie auch Stärken der Studie sollen sowohl bei der Interpretation der Ergebnisse als auch im Vergleich mit aktueller Literatur berücksichtigt werden. Zusätzlich geben sie Anregung für zukünftige Studien in diesem Forschungsbereich.

6 Conclusio

Die vorliegende Masterarbeit verfolgt das Ziel, die Auswirkungen einer COVID-19-Erkrankung auf die Lungenfunktion sportlich aktiver Erwachsener im Quer- und Längsschnitt zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass auch in diesem körperlich aktiven Kollektiv funktionelle Beeinträchtigungen nach überstandener Infektion messbar sind. Dies ist in den Abweichungen der Lungenfunktionsparameter vom Normbereich sowohl zur Erstuntersuchung etwa zwei Monate als auch zum zweiten Testtermin rund sechs Monate nach Erkrankung erkennbar.

Besonders auffällig sind dabei die signifikant reduzierten Atemflussparameter (MEF25, MEF50, MEF25–75) sowie die erhöhten Atemwegswiderstände (RAW, sRAW) zu beiden Zeitpunkten. Diese Veränderungen weisen auf eine persistierende obstruktive Lungenfunktion hin, die auch nach Monaten nicht vollständig regeneriert ist. Dass im Rahmen dieser Masterarbeit ausschließlich sportlich aktive Erwachsene untersucht wurden, unterstreicht, dass selbst regelmäßige körperliche Bewegung funktionelle Einschränkungen der Lunge nach einer COVID-19-Erkrankung nicht vollständig verhindern kann.

Eine besonders interessante Entwicklung zeigt sich im Transferfaktor von Kohlenmonoxid (TLCO). Hier kann erst etwa sechs Monaten nach der COVID-19-Erkrankung eine signifikante Reduktion im Vergleich zu den Normwerten festgestellt werden, was auf verzögerte Beeinträchtigungen des alveolokapillären Gasaustauschs hinweist. Diese Beobachtung verdient besondere Aufmerksamkeit, da sie vermuten lässt, dass nicht alle funktionellen Auswirkungen einer COVID-19-Erkrankung unmittelbar nach der Infektion, sondern auch im zeitlichen Verlauf auftreten können.

Die Längsschnittanalyse kann entgegen der ursprünglichen Hypothese keine signifikante Verbesserung der Lungenfunktion im zeitlichen Verlauf belegen. Abgesehen von der Verschlechterung der TLCO bleiben nahezu alle Werte auf dem Niveau der Erstuntersuchung. Dies spricht für persistierende funktionelle Einschränkungen im postakuten Verlauf und unterstreicht die Notwendigkeit einer langfristigen Nachsorge.

Eine zentrale Erkenntnis der vorliegenden Arbeit ist der positive Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Lungenfunktion. In den Zusammenhangsanalysen zeigen sich signifikante Korrelationen zwischen dem Ausmaß der körperlichen Aktivität und nahezu allen relevanten Lungenfunktionsparametern. Dies weist auf einen möglichen schützenden

Effekt regelmäßiger körperlicher Aktivität hin und unterstreicht die Relevanz von Bewegung sowohl im präventiven als auch im rehabilitativen Zusammenhang mit COVID-19.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass eine COVID-19-Erkrankung selbst bei sportlich aktiven Erwachsenen messbare und persistierende Beeinträchtigungen der Lungenfunktion aufweisen kann. Funktionelle Einschränkungen der Atemwege und der Diffusionskapazität können über Monate anhalten oder sich verzögert äußern. Umso bedeutsamer ist es, die Regeneration der Lungenfunktion körperlich aktiver Personen nach einer SARS-CoV-2-Infektion wie bei Hochrisikopatient*innen und Athlet*innen in Beobachtung zu halten. Die pulmonale Rehabilitation sowie das Einsetzen von therapeutischen Bewegungskonzepten sollte auch in dieser Bevölkerungsgruppe ein fester Bestandteil der Langzeitbetreuung sein.

Literaturverzeichnis

- Albert, A. (2011). *User Manual - smartPFTlab*. MedicalEquipment Europe GmbH.
- Alimohamadi, Y., Sepandi, M., Taghdir, M., & Hosamirudsari, H. (2020). Determine the most common clinical symptoms in COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 61(3), 304-312. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2020.61.3.1530>
- Alkodaymi, M. S., Omrani, O. A., Fawzy, N. A., Shaar, B. A., Almamlouk, R., Riaz, M., Obeidat, M., Obeidat, Y., Gerberi, D., Taha, R. M., Kashour, Z., Kashour, T., Berbari, E. F., Alkattan, K., & Tleyjeh, I. M. (2022). Prevalence of post-acute COVID-19 syndrome symptoms at different follow-up periods: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Microbiology and Infection*, 28(5), 657-666. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2022.01.014>
- Amelunxen, C., Czerny, M., Doberer, D., Hussain, S., Ipsmiller, U., Mladek, R., Mraz, T., Müllauer, C., Rowhani, M., & Tomandl, L. (2023). *Spirometrie*. Friedrich Druck & Medien.
- Berad, A., Sangeeta, G., Grigo, O., & Bhanarkar, U. (2025). Long-Term Effects of COVID-19 on Cardiovascular Health. *European Journal of Cardiovascular Medicine*, 15(02), 372-378. <https://doi.org/10.5083/ejcm/25-02-49>
- Bernard, I., Limonta, D., Mahal, L. K., & Hobman, T. C. (2020). Endothelium Infection and Dysregulation by SARS-CoV-2: Evidence and Caveats in COVID-19. *Viruses*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/v13010029>
- Bourgonje, A. R., Abdulle, A. E., Timens, W., Hillebrands, J. L., Navis, G. J., Gordijn, S. J., Bolling, M. C., Dijkstra, G., Voors, A. A., Osterhaus, A. D., van der Voort, P. H., Mulder, D. J., & van Goor, H. (2020). Angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2), SARS-CoV-2 and the pathophysiology of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Journal of Pathology*, 251(3), 228-248. <https://doi.org/10.1002/path.5471>
- Brandao-Rangel, M. A. R., Brill, B., Furtado, G. E., Freitas-Rolim, C. C. L., Silva-Reis, A., Souza-Palmeira, V. H., Moraes-Ferreira, R., Lopes-Silva, V., Albertini, R., Fernandes, W. S., Ferreira, S. C., Ferreira, R. C. A., Mateus-Silva, J. R., Oliveira, C. R., Frison, C. R., & Vieira, R. P. (2025). Exercise-Driven Comprehensive Recovery: Pulmonary Rehabilitation's Impact on Lung Function, Mechanics, and Immune Response in Post-COVID-19 Patients. *Infectious Disease Reports*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/idr17010001>
- Carfi, A., Bernabei, R., & Landim, F. (2020). Persistent Symptoms in Patients After Acute COVID-19. *JAMA*, 324(6), 603-605. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12603>
- Chastin, S. F. M., Abaraogu, U., Bourgois, J. G., Dall, P. M., Darnborough, J., Duncan, E., Dumortier, J., Pavon, D. J., McParland, J., Roberts, N. J., & Hamer, M. (2021). Effects of Regular Physical Activity on the Immune System, Vaccination and Risk of Community-Acquired Infectious Disease in the General Population: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 51(8), 1673-1686. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01466-1>
- Chen, M., Liu, J., Peng, P., Jian, W., Gao, Y., Fang, L., Yu, Y., Zhong, S., Peng, H., Deng, X., Zhou, Y., Du, S., Chen, R., Mo, X., Zhong, N., & Li, S. (2022). Dynamic changes of pulmonary diffusion capacity in survivors of non-critical COVID-19 during the

- Cheng, Y. J., Macera, C. A., Addy, C. L., Sy, F. S., Wieland, D., & Blair, S. N. (2003). Effects of physical activity on exercise tests and respiratory. *British Journal of Sports Medicine*, 37(6), 521-528. <https://doi.org/10.1136/bjsm.37.6.521>
- Clemente-Suarez, V. J., Beltran-Velasco, A. I., Ramos-Campo, D. J., Mielgo-Ayuso, J., Nikolaidis, P. A., Belando, N., & Tornero-Aguilera, J. F. (2022). Physical activity and COVID-19. The basis for an efficient intervention in times of COVID-19 pandemic. *Physiology & Behavior*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113667>
- Criee, C. P., Sorichter, S., Smith, H. J., Kardos, P., Merget, R., Heise, D., Berdel, D., Kohler, D., Magnussen, H., Marek, W., Mitfessel, H., Rasche, K., Rolke, M., Worth, H., Jorres, R. A., Working Group for Body Plethysmography of the German Society for, P., & Respiratory, C. (2011). Body plethysmography-its principles and clinical use. *Respiratory Medicine*, 105(7), 959-971. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2011.02.006>
- Freihorst, J. (2015). Lungenfunktionsdiagnostik bei Kindern – Methoden und Interpretation. *Pädiatrie up2date*, 10(01), 87-99. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1391410>
- Gao, Y. D., Ding, M., Dong, X., Zhang, J. J., Kursat Azkur, A., Azkur, D., Gan, H., Sun, Y. L., Fu, W., Li, W., Liang, H. L., Cao, Y. Y., Yan, Q., Cao, C., Gao, H. Y., Bruggen, M. C., van de Veen, W., Sokolowska, M., Akdis, M., & Akdis, C. A. (2021). Risk factors for severe and critically ill COVID-19 patients: A review. *Allergy*, 76(2), 428-455. <https://doi.org/10.1111/all.14657>
- Gervasi, S. F., Pengue, L., Damato, L., Monti, R., Pradella, S., Pirronti, T., Bartoloni, A., Epifani, F., Saggese, A., Cuccaro, F., Bianco, M., Zeppilli, P., & Palmieri, V. (2021). Is extensive cardiopulmonary screening useful in athletes with previous asymptomatic or mild SARS-CoV-2 infection? *British Journal of Sports Medicine*, 55(1), 54-61. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102789>
- Graham, B. L., Brusasco, V., Burgos, F., Cooper, B. G., Jensen, R., Kendrick, A., MacIntyre, N. R., Thompson, B. R., & Wanger, J. (2017). 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *European Respiratory Journal*, 49(1). <https://doi.org/10.1183/13993003.00016-2016>
- Graham, B. L., Steenbruggen, I., Miller, M. R., Barjaktarevic, I. Z., Cooper, B. G., Hall, G. L., Hallstrand, T. S., Kaminsky, D. A., McCarthy, K., McCormack, M. C., Oropez, C. E., Rosenfeld, M., Stanojevic, S., Swanney, M. P., & Thompson, B. R. (2019). Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, 200(8), 70-88. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1590ST>
- Grant, M. C., Geoghegan, L., Arbyn, M., Mohammed, Z., McGuinness, L., Clarke, E. L., & Wade, R. G. (2020). The prevalence of symptoms in 24,410 adults infected by the novel coronavirus (SARS-CoV-2; COVID-19): A systematic review and meta-analysis of 148 studies from 9 countries. *PLoS One*, 15(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234765>
- Hamer, M., Kivimaki, M., Gale, C. R., & Batty, G. D. (2020). Lifestyle risk factors, inflammatory mechanisms, and COVID-19 hospitalization: A community-based cohort study of 387,109 adults in UK. *Brain, Behavior, and Immunity*, 87, 184-187. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.059>

- Healey, Q., Sheikh, A., Daines, L., & Vasileiou, E. (2022). Symptoms and signs of long COVID: A rapid review and meta-analysis. *Journal of Global Health*, 12. <https://doi.org/10.7189/jogh.12.05014>
- Hoffmann, M., Kleine-Weber, H., Schroeder, S., Kruger, N., Herrler, T., Erichsen, S., Schiergens, T. S., Herrler, G., Wu, N. H., Nitsche, A., Muller, M. A., Drosten, C., & Pohlmann, S. (2020). SARS-CoV-2 Cell Entry Depends on ACE2 and TMPRSS2 and Is Blocked by a Clinically Proven Protease Inhibitor. *Cell*, 181(2), 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.052>
- Jimeno-Almazan, A., Pallares, J. G., Buendia-Romero, A., Martinez-Cava, A., Franco-Lopez, F., Sanchez-Alcaraz Martinez, B. J., Bernal-Morel, E., & Courel-Ibanez, J. (2021). Post-COVID-19 Syndrome and the Potential Benefits of Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph18105329>
- Klos, K., Jaskola-Polkowska, D., Plewka-Barcik, K., Rozynska, R., Pietruszka-Waleka, E., Zabicka, M., Kania-Pudlo, M., Maliborski, A., Plicht, K., Angielski, G., Wojtyszek, A., Jahnz-Rozyk, K., & Chcialowski, A. (2024). Pulmonary Function, Computed Tomography Lung Abnormalities, and Small Airway Disease after COVID-19: 3-, 6-, and 9-Month Follow-Up. *Journal of Clinical Medicine*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/jcm13102733>
- Komici, K., Bencivenga, L., Rengo, G., Bianco, A., & Guerra, G. (2023). Ventilatory efficiency in post-COVID-19 athletes. *Physiological Reports*, 11(18). <https://doi.org/10.14814/phy2.15795>
- Kratzer, B., Gattinger, P., Trapin, D., Ettel, P., Kormoczi, U., Rottal, A., Stieger, R. B., Sehgal, A. N. A., Feichter, M., Borochova, K., Tulaeva, I., Grabmeier-Pfistershammer, K., Tauber, P. A., Perkmann, T., Fae, I., Wenda, S., Kundi, M., Fischer, G. F., Valenta, R., & Pickl, W. F. (2024). Differential decline of SARS-CoV-2-specific antibody levels, innate and adaptive immune cells, and shift of Th1/inflammatory to Th2 serum cytokine levels long after first COVID-19. *Allergy*, 79(9), 2482-2501. <https://doi.org/10.1111/all.16210>
- Lewis, K. L., Helgeson, S. A., Tatari, M. M., Mallea, J. M., Baig, H. Z., & Patel, N. M. (2021). COVID-19 and the effects on pulmonary function following infection: A retrospective analysis. *EClinicalMedicine*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.101079>
- Li, J., Huang, D. Q., Zou, B., Yang, H., Hui, W. Z., Rui, F., Yee, N. T. S., Liu, C., Nerurkar, S. N., Kai, J. C. Y., Teng, M. L. P., Li, X., Zeng, H., Borghi, J. A., Henry, L., Cheung, R., & Nguyen, M. H. (2021). Epidemiology of COVID-19: A systematic review and meta-analysis of clinical characteristics, risk factors, and outcomes. *Journal of Medical Virology*, 93(3), 1449-1458. <https://doi.org/10.1002/jmv.26424>
- Miller, M. R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., Crapo, R., Enright, P., van der Grinten, C. P., Gustafsson, P., Jensen, R., Johnson, D. C., MacIntyre, N., McKay, R., Navajas, D., Pedersen, O. F., Pellegrino, R., Viegi, G., Wanger, J., & Force, A. E. T. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26(2), 319-338. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00034805>

- Nieman, D. C., & Wentz, L. M. (2019). The compelling link between physical activity and the body's defense system. *Journal of Sport Health and Science*, 8(3), 201-217. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.009>
- Orzes, N., Pini, L., Levi, G., Uccelli, S., Cettolo, F., & Tantucci, C. (2021). A prospective evaluation of lung function at three and six months in patients with previous SARS-COV-2 pneumonia. *Respiratory Medicine*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2021.106541>
- Petersen, E. L., Goßling, A., Adam, G., Aepfelbacher, M., Behrendt, C. A., Cavus, E., Cheng, B., Fischer, N., Gallinat, J., Kühn, S., Gerloff, C., Koch-Gromus, U., Härter, M., Hanning, U., Huber, T. B., Kluge, S., Knobloch, J. K., Kuta, P., Schmidt-Lauber, C.,...Blankenberg, S. (2022). Multi-organ assessment in mainly non-hospitalized individuals after SARS-CoV-2 infection: The Hamburg City Health Study COVID programme. *European Heart Journal*, 43(11), 1124-1137. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab914>
- Proal, A. D., & VanElzakker, M. B. (2021). Long COVID or Post-acute Sequelae of COVID-19 (PASC): An Overview of Biological Factors That May Contribute to Persistent Symptoms. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.698169>
- Qiu, Y., Jiang, Z., Sun, H., Xia, Q., Liu, X., Lei, J., & Li, K. (2023). Computational fluid dynamics can detect changes in airway resistance for patients after COVID-19 infection. *Journal of Biomechanics*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111713>
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2, 21-33.
- Salem, A. M., Al Khathlan, N., Alharbi, A. F., Alghamdi, T., AlDuilej, S., Alghamdi, M., Alfudhaili, M., Alsunni, A., Yar, T., Latif, R., Rafique, N., Al Asoom, L., & Sabit, H. (2021). The Long-Term Impact of COVID-19 Pneumonia on the Pulmonary Function of Survivors. *International Journal of General Medicine*, 14, 3271-3280. <https://doi.org/10.2147/ijgm.S319436>
- Sallis, R., Young, D. R., Tartof, S. Y., Sallis, J. F., Sall, J., Li, Q., Smith, G. N., & Cohen, D. A. (2021). Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48 440 adult patients. *British Journal of Sports Medicine*, 55(19), 1099-1105. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104080>
- Siebertz, K., Bebbler, D. v., & Hochkirchen, T. (2017). *Statistische Versuchsplanung*. Springer Vieweg. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-55743-3_11
- Sonnweber, T., Boehm, A., Sahanic, S., Pizzini, A., Aichner, M., Sonnweber, B., Kurz, K., Koppelstatter, S., Haschka, D., Petzer, V., Hilbe, R., Theurl, M., Lehner, D., Nairz, M., Puchner, B., Luger, A., Schwabl, C., Bellmann-Weiler, R., Woll, E.,...Weiss, G. (2020). Persisting alterations of iron homeostasis in COVID-19 are associated with non-resolving lung pathologies and poor patients' performance: a prospective observational cohort study. *Respiratory Research*, 21(1), 276-285. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01546-2>
- Sonnweber, T., Sahanic, S., Pizzini, A., Luger, A., Schwabl, C., Sonnweber, B., Kurz, K., Koppelstatter, S., Haschka, D., Petzer, V., Boehm, A., Aichner, M., Tymoszyk, P., Lener, D., Theurl, M., Lorschbach-Kohler, A., Tancevski, A., Schapfl, A., Schaber,

- M.,...Tancevski, I. (2021). Cardiopulmonary recovery after COVID-19: an observational prospective multicentre trial. *European Respiratory Journal*, 57(4). <https://doi.org/10.1183/13993003.03481-2020>
- Soriano, J. B., Murthy, S., Marshall, J. C., Relan, P., Diaz, J. V., & Condition, W. H. O. C. C. D. W. G. o. P.-C.-. (2022). A clinical case definition of post-COVID-19 condition by a Delphi consensus. *Infectious Diseases*, 22(4), 102-107. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00703-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00703-9)
- South, A. M., Tomlinson, L., Edmonston, D., Hiremath, S., & Sparks, M. A. (2020). Controversies of renin-angiotensin system inhibition during the COVID-19 pandemic. *Nature Reviews Nephrology*, 16(6), 305-307. <https://doi.org/10.1038/s41581-020-0279-4>
- Suppini, N., Oancea, C., Fira-Mladinescu, O., Traila, D., Pescaru, C., Marc, M. S., Manolescu, D., Vastag, E., Ali, A., Hogeia, E., & Pilut, C. N. (2023). Post-Infection Oscillometry and Pulmonary Metrics in SARS-CoV-2 Patients: A 40-Day Follow-Up Study. *Diseases*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/diseases11030102>
- Sylvester, K. P., Clayton, N., Cliff, I., Hepple, M., Kendrick, A., Kirkby, J., Miller, M., Moore, A., Rafferty, G. F., O'Reilly, L., Shakespeare, J., Smith, L., Watts, T., Bucknall, M., & Butterfield, K. (2020). ARTP statement on pulmonary function testing 2020. *BMJ Open Respiratory Research*, 7(1). <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2020-000575>
- Torres-Castro, R., Vasconcello-Castillo, L., Alsina-Restoy, X., Solis-Navarro, L., Burgos, F., Puppo, H., & Vilaró, J. (2021). Respiratory function in patients post-infection by COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Pulmonology*, 27(4), 328-337. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.10.013>
- Untersteiner, H. (2007). *Statistik - Datenauswertung mit Excel und SPSS*. Wien: Facultas, WUV.
- Upadhyia, S., Rehman, J., Malik, A. B., & Chen, S. (2022). Mechanisms of Lung Injury Induced by SARS-CoV-2 Infection. *Physiology*, 37(2), 88-100. <https://doi.org/10.1152/physiol.00033.2021>
- Van Willigen, H. D. G., Wynberg, E., Verveen, A., Dijkstra, M., Verkaik, B. J., Figaroa, O. J. A., de Jong, M. C., van der Veen, A., Makowska, A., Koedoot, N., Nieuwkerk, P. T., Boyd, A., Prins, M., de Jong, M. D., de Bree, G. J., & van den Aardweg, J. G. (2023). One-fourth of COVID-19 patients have an impaired pulmonary function after 12 months of disease onset. *PLoS One*, 18(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290893>
- Walls, A. C., Park, Y. J., Tortorici, M. A., Wall, A., McGuire, A. T., & Veasler, D. (2020). Structure, Function, and Antigenicity of the SARS-CoV-2 Spike Glycoprotein. *Cell*, 181(2), 281-292 e286. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.058>
- West, J. B. (2012). *Respiratory Physiology: The Essentials*. Lippincott Williams & Wilkins.
- WHO. (2025). *WHO coronavirus (COVID-19) dashboard*. Retrieved 26.03.2025 from <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=o>
- Wiersinga, W. J., Rhodes, A., Cheng, A. C., Peacock, S. J., & Prescott, H. C. (2020). Pathophysiology, Transmission, Diagnosis, and Treatment of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Review. *JAMA*, 324(8), 782-793. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12839>

- Wu, X., Liu, X., Zhou, Y., Yu, H., Li, R., Zhan, Q., Ni, F., Fang, S., Lu, Y., Ding, X., Liu, H., Ewing, R. M., Jones, M. G., Hu, Y., Nie, H., & Wang, Y. (2021). 3-month, 6-month, 9-month, and 12-month respiratory outcomes in patients following COVID-19-related hospitalisation: a prospective study. *Respiratory Medicine*, 9(7), 747-754. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(21\)00174-0](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(21)00174-0)
- Zhang, J. J., Dong, X., Liu, G. H., & Gao, Y. D. (2023). Risk and Protective Factors for COVID-19 Morbidity, Severity, and Mortality. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 64(1), 90-107. <https://doi.org/10.1007/s12016-022-08921-5>
- Zhao, Y. M., Shang, Y. M., Song, W. B., Li, Q. Q., Xie, H., Xu, Q. F., Jia, J. L., Li, L. M., Mao, H. L., Zhou, X. M., Luo, H., Gao, Y. F., & Xu, A. G. (2020). Follow-up study of the pulmonary function and related physiological characteristics of COVID-19 survivors three months after recovery. *EClinicalMedicine*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100463>
- Zheng, C., Chen, X. K., Sit, C. H., Liang, X., Li, M. H., Ma, A. C., & Wong, S. H. (2024). Effect of Physical Exercise-Based Rehabilitation on Long COVID: A Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 56(1), 143-154. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003280>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schutz- und Risikofaktoren für COVID-19 (Zhang et al. 2023).....	3
Abbildung 2: Potenzielle Effekte von Bewegung im Vergleich zu den häufigsten Manifestationen des Post-COVID-19-Syndroms (Jimeno-Almazán et al. 2021)	5
Abbildung 3: Atemflussparameter in der forcierten Expiration und forcierten Inspiration (Amelunxen et al., 2023)	14
Abbildung 4: Atemschleifen bei der Bodyplethysmographie. A: Normalbefund (steile, fast lineare Kurve), B: Intrathorakale (periphere) Obstruktion mit überwiegend expiratorischer Widerstandserhöhung, C: In- und expiratorische Widerstandserhöhung, D: extrathorakale Obstruktion mit inspiratorischer Widerstandserhöhung, E: Lungenemphysem mit expiratorischer Widerstandserhöhung (Freihorst, 2015).....	17
Abbildung 5: Einteilung des Gesamtkollektivs (n = 53) in Schweregrade der COVID-19- Erkrankung, Anzahl und Gewichtung der Symptome gewertet in einer Skala von 0-15	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten des Gesamtkollektivs (n = 53).....	22
Tabelle 2: Beschreibung des Raucher- (n = 16) und des Aktivitätsverhalten (n = 53).....	23
Tabelle 3: Ergebnisse der Lungenfunktionsparameter zu Termin 1 im Vergleich zu Referenzwerten (n = 53).....	27
Tabelle 4: Ergebnisse der Lungenfunktionsparameter zu Termin 2 im Vergleich zu Referenzwerten (n = 53).....	30
Tabelle 5: Korrelationstabelle aller Lungenfunktionsparameter und den für die Fragestellung relevanten Einflussfaktoren zu Termin 1	32
Tabelle 6: Lungenfunktionsparameter von Termin 1 und Termin 2 im Vergleich (n = 53).	34
Tabelle 7: Absolute Werte ausgewählter Lungenfunktionsparameter und Anzahl der Proband*innen jenseits der Grenzwerte des Normbereichs zu beiden Terminen (n = 53) .	36

Abkürzungsverzeichnis

ACE2: Angiotensin-konvertierenden Enzym-2

ARTP: Association for Respiratory Technology & Physiology

ATS: American Thoracic Society

BDI-II: Beck-Depression-Inventar

BMI: Body-Mass-Index

CO: Kohlenmonoxid

CT: Computertomographie

DLCO: Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenmonoxid

EOFE: Ende der forcierten Expiration

EQ-5D-5L: European quality of life 5 dimension 5 level

ERS: European Respiratory Society

ERV: Expiratorisches Residualvolumen

FEV1: Forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde

FEV1/FVC: Tiffeneau Index

FVC: Forcierte Vitalkapazität

GLI: Global Lung Initiative

IC: Inspiratorische Kapazität

IQR: Interquartilsabstand

IVC: Inspiratorische Vitalkapazität

LLN: Lower Limit of Normal

MD: Median

MEF25: Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 % des ausgeatmeten Volumens

MEF25-75: Mittlere expiratorische Flussrate zwischen 25 % und 75 % des ausgeatmeten Volumens

MEF50: Maximaler expiratorischer Fluss bei 50 % des ausgeatmeten Volumens

MEF75: Maximaler expiratorischer Fluss bei 75 % des ausgeatmeten Volumens

MW: Mittelwert

n: Gesamtanzahl

PCR: Polymerasekettenreaktion

PCFS: Post-COVID-19-Skala des funktionellen Status

PEF: Maximale Ausatemflussrate

r: Korrelationskoeffizient

RAW: Atemwegswiderstand

RV: Residualvolumen

sRAW: spezifischer Atemwegswiderstand

SARS-CoV-2: Schweres-akutes-Atemwegssyndrom-Coronavirus Typ 2

SD: Standardabweichung

T1: Testzeitpunkt 1

T2: Testzeitpunkt 2

TGV: Thorakale Gasvolumen

TLC: Totale Lungenkapazität

TLCO: Transferfaktor der Lunge für Kohlenmonoxid

TMPRSS2: Transmembrane Serinprotease 2

ULN: Upper Limit of Normal

VC: Vitalkapazität

WHO: World Health Organisation

%Soll: Prozentualer Anteil des Ergebnisses von dem zu erreichenden absoluten Referenzwert

Anhang A

„Untersuchung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19“

Teilnehmer*Inneninformation und Einwilligungserklärung

Sehr geehrte*r Teilnehmer*in,

wir laden Sie ein, an dieser Studie teilzunehmen und möchten Sie in diesem Schreiben über den genauen Inhalt und die Vorgehensweise informieren.

Die Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ablehnen oder auch im Verlauf der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie haben keine nachteiligen Folgen für Sie. Diese Studie hat eine hohe gesellschaftliche Relevanz, um verlässliche neue wissenschaftliche Forschungsergebnisse zu gewinnen. Für die Teilnahme an dieser Studie ist es notwendig, dass Sie Ihr Einverständnis schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung:

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer/in an dieser Studie im Klaren sind.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme und Kooperation!

Ihre Studienleitung


Univ.- Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag

Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie,
Sportmedizin
Professur für Sport- und Leistungsphysiologie
Abteilung für Sportmedizin, Leistungsphysiologie
und Prävention, Institut für Sportwissenschaft,
Universität Wien


Univ.- Prof. Dr. phil. Rhoia Neidenbach

Sportwissenschaftlerin, Physiotherapeutin
Gastprofessur für Versorgungsforschung
Abteilung für Sportmedizin,
Leistungsphysiologie und Prävention, Institut
für Sportwissenschaft, Universität Wien

Was ist der Zweck der Studie?

Ziel der vorliegenden Studie ist, bei Erwachsenen nach einer COVID-19-Erkrankung den Gesundheitszustand inklusive der körperlichen Leistungsfähigkeit sowohl auf Basis sportmedizinisch-internistischer und -kardiologischer als auch sportwissenschaftlich-leistungsphysiologischer Untersuchungen zu erfassen. Zudem werden Mittels Fragebögen die Lebensqualität, Angst und Depressivität erhoben, um den seelischen Zustand der Genesenen zu ermitteln.

Um möglichst repräsentative Aussagen zu gewinnen und für Betroffene nach einer Covid-19-Erkrankung das notwendige Versorgungsspektrum bei krankheitsbedingter reduzierter Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit mittels der o.g. Untersuchungsinhalte erheben zu können, werden an COVID-19 genesene körperlich inaktive bzw. untrainierte als auch zuvor körperlich bzw. sportlich aktive Personen in die Studie zu gleichen Teilen eingeschlossen werden. Hierdurch können sowohl zunächst initial im Querschnitt die zu untersuchende Parameter von Untrainierten und Sportler*innen verglichen werden.

Zusätzlich soll die Entwicklung im Längsschnitt durch ein Follow-up nach drei Monaten in den Kollektiven untersucht werden. Hierbei soll ein in etwa gleich gewichtetem Anteil von Untrainierten und Sportler*innen ohne und mit subjektiv empfundener Minderung der Leistungsfähigkeit nach COVID-19 untersucht werden.

Wie läuft die Studie ab?

Alle Untersuchungen werden in der Abteilung für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention des Instituts für Sportwissenschaften der Universität Wien durchgeführt. Vor den ersten Untersuchungen erfolgt ein Gespräch und eine Untersuchung durch eine*n Sportmediziner*in der Universität Wien zur Risikoabklärung und zur Freigabe zur Testung statt.

Die Untersuchungen finden an einem Termin statt und beinhalten sportmedizinisch-internistische und -kardiologische sowie sportwissenschaftlich-leistungsphysiologische Untersuchungen. Diese beinhalten:

- Ein Anamnesegespräch mit eine*r Sportmediziner*in
- körperliche Untersuchungen, Analyse der Körperzusammensetzung, eine Ruhe-EKG Messung
- Routine-Laborwerte des Blutes
- Transthorakales 2D und 3D Echokardiographie
- Bodyplethysmographie (zur Analyse der Lungenfunktion) inklusive Bestimmung der Diffusionskapazität
- Ein fahrradergometrisches Belastungs-EKG mittels Spiroergometrie inkl. Bestimmung leistungsphysiologischer Schwellen (VT, RCP, VO₂peak) sowie weiterer Kenngrößen (Sauerstoffpuls, Atemäquivalent, VE/VO₂-Slope etc.)
- Laktat in Ruhe, bei Belastungsende und 5 Minuten danach
- Analyse der Lebensqualität und des psychologischen IST-Status (mit Fokus auf Angst und Depressivität)

Alle Testungen werden im Labor der Abteilung für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention am Institut für Sportwissenschaft, Auf der Schmelz 6, 1150 Wien durchgeführt. Es werden ca. 200 Proband*innen an dieser Studie teilnehmen. Die Testdauer beträgt ca. 2,5 Stunden.

Basisblutwerte, die in der Studie bestimmt werden sollen: kleines Blutbild, Routine-Leberwerte (GOT, GPT, g-GT), Routine-Nierenwerte Kreatinin, Harnstoff, Routine-Elektrolyte (Na, K, Mg), Routine-Stoffwechsel: Glucose, Gesamt-Cholesterin, LDL- und HDL-Cholesterin, CRP.

Ziel ist es, den allgemeinen Gesundheitszustand zu kontrollieren und ggf. auch vor Belastung Erkrankungen zu erkennen, die evtl. eine Kontraindikation für eine Ergometrie darstellen (insb. Infekte).

Die Blutproben werden bei Studieneinschluss und bei der Folgeuntersuchung (nach 3 Monaten) pseudonymisiert analysiert und in Folge anonymisiert eingefroren, damit ggf. später weitere Bestimmungen von (neuen) Biomarkern möglich sind

Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie aufgrund Ihrer Teilnahme einen gesundheitlichen Nutzen ziehen. Die Ergebnisse dieser Studie sollen wichtige Daten zur Anpassung der Nachsorge von Covid-19 Genesenen beitragen. Die Teilnahme ist selbstverständlich mit keinerlei Kosten verbunden. Sie erhalten anschließend sowohl die persönlichen Ergebnisse als auch die Resultate und Erläuterungen nach Abschluss des Projekts durch erfahrene Sportmediziner*innen und Sportwissenschaftler*innen.

Der Ergebnisse spiegeln Ihren derzeitigen Gesundheitszustand sowie Ihr aktuelles Leistungsvermögen wider. Diese können als Grundlage für Ihre zukünftigen Trainingsinterventionen genutzt werden.

Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen

Begleiterscheinungen zu rechnen?

Durch die Teilnahme an der Studie sind keine zusätzlichen Risiken zu erwarten, die nicht auch während der üblichen Sportausübung auftreten können. Es besteht die Möglichkeit, dass die Erschöpfung nach der Testung einige Stunden andauert und dass sich ein Muskelkater bildet, der jedoch nach einigen Tagen nicht mehr spürbar ist. Daher können die Belastungstests als intensive sportliche Tätigkeiten angesehen werden. Die Blutabnahmen in der Ellenbeuge und am Ohrläppchen können zu vorübergehenden kleinen Hämatomen („blaue Flecken“) führen, die sich jedoch nach kurzer Zeit wieder zurückbilden. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig eingesetzt. Gesundheitliche Vorbelastungen müssen dem Studienleiter, der Versuchsleiterin und/oder dem Arzt, der die Voruntersuchung durchführt mitgeteilt werden und dies kann zu einem Ausschluss aus der Studie führen.

Ausschlusskriterien:

- Verletzung vor oder während der Studie, die eine Teilnahme aus gesundheitlicher Sicht nicht erlauben
- Kardiovaskuläre, pulmonale oder metabolische Erkrankung(en), die die Teilnahme nicht erlauben
- Akute Infektionen ab 1 Woche vor dem Messzeitpunkt
- Alter <18 Jahren

Einschlusskriterien:

- Proband*innen ≥ 18
- Detaillierte Angabe der durchlaufenen Covid-19-Erkrankung

Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Am Tag vor den Untersuchungen dürfen nur leichte körperliche Aktivitäten durchgeführt werden, sodass Sie die Testungen in ermüdungsfreiem Zustand absolvieren. Drei Stunden vor den Testungen dürfen keine schweren Mahlzeiten, koffeinhaltige Getränke, Alkohol oder Sportgetränke zu sich genommen werden.

Was ist zu tun beim Auftreten von Beschwerdesymptomen, unerwünschten Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Verlauf der Studie Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese

der Versuchsleiterin oder dem Studienleiter mitteilen. Bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen ist die Versuchsleiter*in oder der Studienleiter*in umgehend zu kontaktieren (Kontaktdaten siehe Punkt 10).

Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sie haben das Recht, Ihre Teilnahmebereitschaft jederzeit zu widerrufen. Dies ist auch ohne Angabe von Gründen möglich. Durch ein Ausscheiden aus der Studie entstehen keine Nachteile für Sie. Um die Bereitschaft zur Teilnahme zu widerrufen, können Sie jederzeit den*die Studienleiter*in oder den*die Versuchsleiter*in kontaktieren (persönlich, per Mail oder telefonisch, siehe Punkt 10).

Es ist auch möglich, dass der*die Studienleiter*in oder der*die Versuchsleiter*in entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden. Hierbei muss vorher kein Einverständnis von Ihnen eingeholt werden. Die Gründe hierfür können sein:

Innerhalb des Gespräches und der Untersuchung durch eine*n Sportmediziner*in wird ein Risikofaktor erkannt und keine Testfreigabe erteilt

Der*die Studienleiter*in oder der*die Versuchsleiter*in haben den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist

In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Es werden keine Namen verwendet, sondern Kennziffern (z.B.: Covid_Einschluss_01). Diese Ziffern werden den Teilnehmenden zugeordnet und in einer Zuordnungsdatei notiert, um die Leistungsdaten korrekt zuzuordnen (= pseudonymisiert). Diese Zuordnung wird acht Wochen nach Beendigung der jeweiligen Studienteilnahme gelöscht, danach sind die Daten anonymisiert. Und die Zuordnung wird auf dem passwortgeschützten Rechner des Studienleiters gespeichert. Zugang zu diesem Computer hat ausschließlich die Studienleitung. Die Studienleitung ist verpflichtet, keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse zu geben. Die aufgenommenen Daten werden ausschließlich zu statistischen Zwecken gesammelt und verwendet. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

Die Löschung der Daten kann bis spätestens acht Wochen nach Beendigung des letzten Tests, ohne Angabe von Gründen, verlangt werden. Dies kann schriftlich oder mündlich durch die Studienleitung erfolgen (Kontaktdaten siehe 10.).

Entstehen für die Teilnehmer*Innen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Für die Teilnahme an dieser Studie kann keinerlei Vergütung und kein Kostenersatz gewährt werden. Die Teilnahme, sowie die zur Verfügung gestellten Ergebnisse, sind für Sie selbstverständlich kostenlos.

Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie steht Ihnen die Studienleitung gerne zur Verfügung. Dies betrifft auch Fragen, welche Ihre Rechte, als Teilnehmer*in an dieser Studie, betreffen. Ein individueller Termin wird via Email (postcovid19@univie.ac.at) koordiniert und in persönlicher Besprechung mit Projektmitarbeiter*innen wird die Einsicht in Daten angeboten.

Namen der Kontaktpersonen:

Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag

Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie; Sportmedizin, Physikalische Therapie &

Balneologie, Professur für Sport- und Leistungsphysiologie am Zentrum für Sportwissenschaft und

Universitätssport, Institut für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention
Universität Wien

Univ.-Prof. Dr. phil. Rhoia Neidenbach, M.Sc., B.Sc.

Sportwissenschaftlerin

Gastprofessur für Versorgungsforschung am Zentrum für Sportwissenschaft und
Universitätssport, Institut für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention
Universität Wien

Kontakt Daten Studienzentrum:

E-Mail: postcovid19@univie.ac.at

Anhang B

Einwilligungserklärung (Exemplar zum Verbleib bei dem*r Studienteilnehmer*in)

Ich erkläre mich bereit, an der Studie zur „Untersuchung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19: eine Quer- und Längsschnitt Pilotstudie an Untrainierten und Sporttreibenden“ teilzunehmen.

Ich wurde ausführlich und verständlich über Zielsetzung, Bedeutung und Tragweite der Studie und die sich für mich resultierenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmer*Inneninformation und der Einwilligungserklärung gelesen, insbesondere den 4. Abschnitt (Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?).

Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und ausreichend beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden, ob ich an der Studie teilnehmen möchte. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde die Hinweise, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, befolgen, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Sollte ich aus der Studie ausscheiden wollen, so kann ich dies jeder Zeit schriftlich oder mündlich durch Kontaktaufnahme an das Studiensekretariat veranlassen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten ausgewertet werden.

Ich stimme zu, dass meine Daten dauerhaft in anonymisierter Form und bis acht Wochen nach meiner Studienteilnahme pseudonymisiert elektronisch gespeichert werden. Die Daten werden in einer nur der Studienleitung zugänglichen Form gespeichert, die gemäß aktueller Standards gesichert ist.

Sollte ich zu einem späteren Zeitpunkt (bis zu 8 Wochen nach meiner letzten Testung) die Löschung meiner Daten wünschen, so kann ich dies schriftlich oder telefonisch ohne Angabe von Gründen bei der Versuchsleiterin oder dem Studienleiter veranlassen.

Den Aufklärungsteil habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.

Eine Kopie dieser Teilnehmer*Inneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei der Studienleitung.

→ Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung auf der folgenden Seite und geben Sie diese an ein*e Studienuntersucher*in ab!

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Einwilligungserklärung (bitte um Abgabe an eine*n Studienuntersucher*in)

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben:

Geburtsdatum:

Ich erkläre mich bereit, an der Studie zur „Untersuchung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19: eine Quer- und Längsschnitt Pilotstudie an Untrainierten und Sporttreibenden“ teilzunehmen.

Ich wurde ausführlich und verständlich über Zielsetzung, Bedeutung und Tragweite der Studie und die sich für mich resultierenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmer*Inneninformation und der Einwilligungserklärung gelesen, insbesondere den 4. Abschnitt (Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?).

Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und ausreichend beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden, ob ich an der Studie teilnehmen möchte. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde die Hinweise, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, befolgen, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Sollte ich aus der Studie ausscheiden wollen, so kann ich dies jeder Zeit schriftlich oder mündlich durch Kontaktaufnahme an das Studiensekretariat veranlassen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten ausgewertet werden.

Ich stimme zu, dass meine Daten dauerhaft in anonymisierter Form und bis acht Wochen nach meiner Studienteilnahme pseudonymisiert elektronisch gespeichert werden. Die Daten werden in einer nur der Studienleitung zugänglichen Form gespeichert, die gemäß aktueller Standards gesichert ist.

Sollte ich zu einem späteren Zeitpunkt (bis zu 8 Wochen nach meiner letzten Testung) die Löschung meiner Daten wünschen, so kann ich dies schriftlich oder telefonisch ohne Angabe von Gründen bei der Versuchsleiterin oder dem Studienleiter veranlassen.

Den Aufklärungsteil habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.

Eine Kopie dieser Teilnehmer*Inneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei der Studienleitung.

Datum und Unterschrift des*der Teilnehmers*in: → _____ Datum,

Name und Unterschrift durch die Studienleitung: _____

Anhang C

COVID-19-Fragebogen

Studien-ID: _____

Liebe*r Studienteilnehmer*in!

In diesem Fragebogen geht es um Ihren Lebensstil und Ihr Gesundheitsverhalten. Ziel ist es, herauszufinden, welche Maßnahmen etabliert werden müssen, um ggf. Gesundheitsrisiken zu erkennen und Sie dabei zu unterstützen, diese langfristig zu reduzieren. Die Teilnahme ist freiwillig und dauert wenige Minuten. Bitte geben Sie den ausgefüllten Fragebogen im Anschluss an einen der Untersucher*innen ab!

Vielen Dank für die Beantwortung der Fragen!

Beginn des COVID-19 Fragebogens

Angaben zu Ihrer Person

- 1.) Nachname: _____ Vorname: _____
- 2.) Geburtsdatum: _____
- 3.) Körpergröße: _____
- 4.) Körpergewicht: _____
- 5.) Welches Geschlecht haben Sie? ☐ Männlich ☐ Weiblich ☐ Anderes ☐ keine Angabe
- 6.) Wie ist Ihr Familienstand?
☐ Verheiratet und zusammenlebend ☐ Verheiratet und getrennt lebend ☐ geschieden
☐ In fester Partnerschaft ☐ keine feste Partnerschaft ☐ verwitwet
- 7.) Haben Sie Kinder?
☐ Nein ☐ Ja Wenn ja, wie viele? _____ Kinder
- 8.) Wie schätzen Sie persönlich Ihre momentane finanzielle Lage im Vergleich zu anderen Personen Ihrer Altersgruppe ein?
☐ sehr gut ☐ gut ☐ weder gut noch schlecht ☐ schlecht ☐ sehr schlecht
- 9.) Welchen höchsten allgemeinbildenden Schulabschluss haben Sie?
☐ Schule beendet ohne Abschluss ☐ Hauptschulabschluss/Volksschulabschluss
☐ Fachhochschulreife ☐ Allg. Hochschulreife/Matura
- 10.) Welchen beruflichen Ausbildungsabschluss haben Sie?
☐ keinen beruflichen Abschluss und nicht in beruflicher Ausbildung
☐ noch in Ausbildung (Student/in, Auszubildende/r)
☐ Beruflich-betriebliche Ausbildung (Lehre)
☐ Beruflich-schulische Ausbildung (Berufsfachschule, Handelsschule)
☐ Abschluss von einer Fach-, Meister-, Technikerschule, Berufs- oder Fachakademie
☐ Fachhochschulabschluss
☐ Hochschulabschluss (Bachelor-, Masterabschluss, Doktorat, Magister, Diplom, Staatsexamen...)
☐ anderer beruflicher Abschluss, und zwar: _____
- 11.) Welche berufliche Tätigkeit üben Sie zurzeit aus? Bitte geben Sie die Berufsbezeichnung so genau wie möglich an.

Angaben zu Ihrer Gesundheit und zu Ihren Lebensgewohnheiten

- 12.) Wie oft waren Sie in den letzten 12 Monaten beim Arzt (nicht Zahnarzt)? _____ mal
- 13.) Wie oft waren Sie in den letzten 12 Monaten beim Zahnarzt? _____ mal
- 14.) Wie oft waren Sie in den letzten 12 Monaten in stationärer Behandlung? _____ mal
- 15.) Wurden Sie schon einmal sportmedizinisch untersucht? (inkl. Belastungs-EKG)
☐ Nein ☐ Ja, _____ wann?
-
- 16.) An wie vielen Tagen waren Sie in den letzten 12 Monaten so krank, dass Sie Ihren üblichen Tätigkeiten (z.B. Beruf, Sport, Soziale- und Alltagsaktivitäten) nicht nachgehen konnten? _____ mal
- 17.) Wie oft wurden Sie in den letzten 12 Monaten durch einen Arzt arbeitsunfähig geschrieben? _____ mal
- 18.) Rauchen Sie zurzeit täglich Zigaretten oder haben Sie früher täglich Zigaretten geraucht?
☐ nein, ich habe noch nie geraucht ☐ Ja, ich rauche seit _____ Jahren täglich etwa _____ Zigaretten
☐ Ja, ich habe früher geraucht, insgesamt _____ Jahre und ca. _____ Zigaretten/Tag
- 19.) Wie oft trinken Sie alkoholische Getränke (Wein, Bier, Likör, Spirituosen, etc.)?
☐ nie
☐ sehr selten (1-2 mal pro Monat)
☐ selten (1-2 mal pro Woche)
☐ gelegentlich (3-4 mal pro Woche)
☐ täglich oder fast täglich (5-7 mal pro Woche)
- 20.) Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein?
☐ Nein ☐ Ja Wenn _____ ja,
 welche? _____
- 21.) Wie viele Stunden/Woche treiben Sie Sport: ☐ <1h ☐ 1-3h ☐ 3-5 h ☐ 5-10h ☐ >10h
 Wenn ja, welchen?

<input type="checkbox"/> Jogging	<input type="checkbox"/> Tischtennis
<input type="checkbox"/> Radfahren	<input type="checkbox"/> Badminton/ Squash
<input type="checkbox"/> Schwimmen	<input type="checkbox"/> Reiten
<input type="checkbox"/> Kampfsport	<input type="checkbox"/> Klettern
<input type="checkbox"/> Fußball	<input type="checkbox"/> Wandern
<input type="checkbox"/> Volleyball	<input type="checkbox"/> Gymnastik
<input type="checkbox"/> Tennis	<input type="checkbox"/> Turnen
<input type="checkbox"/> Tanz	<input type="checkbox"/> Skifahren, Langlauf, Skitouren
<input type="checkbox"/> andere,	

 und
 zwar: _____
- 22.) Wann sind Sie während der letzten 4 Wochen gewöhnlich abends zu Bett gegangen?
 übliche Uhrzeit: _____ Uhr
- 23.) Wie lange hat es während der letzten 4 Wochen gewöhnlich gedauert, bis Sie nachts eingeschlafen sind?
 In Minuten: _____
- 24.) Wann sind Sie während der letzten 4 Wochen gewöhnlich morgens aufgestanden?
 übliche Uhrzeit: _____ Uhr
- 25.) Wie viele Stunden haben Sie während der letzten 4 Wochen pro Nacht tatsächlich geschlafen? (Das muss nicht mit der Anzahl der Stunden, die Sie im Bett verbracht haben, übereinstimmen)

Effektive Schlafzeit (Stunden) pro Nacht: _____ "h:min" (Bitte geben Sie die Stunden und Minuten, getrennt durch einen Doppelpunkt und zweistellig ein. z.B.: 08:30)

- 26.) Wie würden Sie insgesamt die Qualität Ihres Schlafes während der letzten 4 Wochen beurteilen?
☐ Sehr gut ☐ Ziemlich gut ☐ Ziemlich schlecht ☐ Sehr schlecht
- 27.) Wie oft am Tag essen Sie normalerweise etwas (einschließlich aller Mahlzeiten und Snacks)
☐ 1mal ☐ 2mal ☐ 3mal ☐ 4mal ☐ 5mal ☐ 6mal ☐ 7mal ☐ 8mal ☐ 9mal
- 28.) Haben Sie in den letzten 12 Monaten eine Diät gemacht, Ihre Essgewohnheiten geändert oder etwas anderes getan, um Ihr Gewicht zu kontrollieren?
☐ nein ☐ ja, ein paar Tage ☐ ja, eine Woche ☐ ja, mehr als 1 Woche aber weniger als 1 Monat
☐ ja, mehr als 1 Monat, aber weniger als 6 Monate ☐ ja, mehr als 6 Monate
- 29.) Wie oft haben Sie in den letzten 12 Monaten eine Diät gemacht, um Gewicht zu verlieren? (Mit „Diät“ meinen wir, die Essgewohnheiten zu verändern, so dass man Gewicht verlieren kann.)
☐ kein mal ☐ 1-2 mal ☐ 3-4 mal ☐ 5-6 mal ☐ 7 mal oder öfter
- 30.) Wie beurteilen Sie Ihre körperliche Konstitution heute?
☐ untergewichtig ☐ leicht untergewichtig ☐ normalgewichtig ☐ leicht übergewichtig
☐ übergewichtig ☐ stark übergewichtig
- 31.) Wie hoch würden Sie Ihre derzeitige Stressbelastung einschätzen?
☐ keine ☐ gering ☐ mäßig ☐ hoch ☐ sehr hoch
- 32.) Versuchen Sie den ursächlichen Anteil bei der Entstehung Ihres Stressproblems in Prozent zu schätzen.
(z.B. Arbeit 45%, Freizeit 20%, Familie 25%, Krankheit 10%)
Arbeit _____ % Freizeit _____ % Familie _____ % Krankheit _____ %
- 33.) Erleben Sie bei Stressbelastungen zeitweilig negative körperliche Reaktionen? (z.B. Kopfschmerzen, Angst, Magenbeschwerden, Muskelverspannungen, etc..)
☐ Nein ☐ Ja wenn ja welche? _____
- 34.) Wie regelmäßig nehmen Sie an Vorsorgeuntersuchungen teil? (einschließlich allgemeiner gesundheitsfördernder Maßnahmen und Selbstkontrollen)
☐ regelmäßig ☐ häufig ☐ bei Beschwerden ☐ selten ☐ nie

COVID-19 spezifische Fragen:

- 35.) Wurden Sie bereits gegen COVID-19 geimpft? ☐ Nein ☐ Ja
- 36.) Wenn ja, welche COVID Impfungen haben Sie erhalten:
- a. Impfstoff Impfung 1: _____ Datum der Impfung: _____
- b. Impfstoff Impfung 2: _____ Datum der Impfung: _____
- c. Impfstoff Impfung 3: _____ Datum der Impfung: _____
- d. Impfstoff Impfung 4: _____ Datum der Impfung: _____
- 37.) Wurden Sie bereits gegen Grippe geimpft? ☐ Nein ☐ Ja, wann?
_____ (Monat/Jahr)
- 38.) Hatten Sie seit Beginn der Pandemie einen Infekt der oberen Atemwege?
☐ Nein ☐ Weiß nicht ☐ Ja, wann?

- 39.) Hatten Sie jemals eine COVID-19 Infektion? ☐ Nein ☐ Weiß nicht
☐ Ja, wann? _____ Virus-Variante (z.B. Delta, Omikron): _____
- 40.) Wie wurde diese nachgewiesen?
☐ PCR positiv ☐ Antigen Schnelltest positiv ☐ kein Test erfolgt, ärztliche Verdachtsdiagnose
- 41.) Wenn ja, welche Symptome hatten Sie?
- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Keine | <input type="checkbox"/> Müdigkeit |
| <input type="checkbox"/> Fieber | <input type="checkbox"/> Kopf- und Gliederschmerzen |
| <input type="checkbox"/> Husten | <input type="checkbox"/> Schnupfen |
| <input type="checkbox"/> Atemnot | <input type="checkbox"/> Durchfall |
| <input type="checkbox"/> Geschmacks- oder Geruchsstörungen | <input type="checkbox"/> Halsschmerzen |
| <input type="checkbox"/> Andere, und zwar: _____ | |

Anhang D



universität
wien

Zentrum für Sportwissenschaft
und Universitätssport



Abteilung für Sportmedizin,
Leistungsphysiologie
und Prävention

SPORTMEDIZINISCHER ANAMNESEBOGEN

Bitte **alle** Punkte nach bestem Wissen und Gewissen ausfüllen, **nicht Zutreffendes bitte streichen**
oder mit "nein" beantworten, ganz unten **selbst** unterschreiben!

Unvollständig ausgefüllte Bögen werden nicht angenommen!

PERSÖNLICHE DATEN:

Vorname:	Größe:	
Nachname:	Gewicht:	
Geburtsdatum:	Geschlecht:	
Ruhe RR:	Puls:	O2 Sättigung:
Waist to hip ratio:	Handkraft:	

FREIZEITSPORT:

Würden sie sich als einen sportlichen Menschen beschreiben?

☐ ja ☐ eher ja ☐ eher nein ☐ nein

Wie viele Stunden Sport machen Sie durchschnittlich in einer Woche?

.....

Sportarten:

.....

LEISTUNGSSPORT:

Aktuelle Sportart:	Früherer Leistungssport:
Wie viele Jahre trainieren Sie in dieser Sportart?	
Trainingseinheiten in einer Woche:	
Trainingsstunden in einer Woche:	
Für Ausdauer: km/Woche:	
Für Kraft: Tonnen/Woche:	
Bisherige Bestleistung:	
Bisherige Bestplatzierung:	



universität
wien

Zentrum für Sportwissenschaft
und Universitätssport



Abteilung für Sportmedizin,
Leistungsphysiologie
und Prävention

ANAMNESE:

Vorerkrankungen:

Operationen:

Allergien:

CCS:

NYHA:

Medikamente:

Sozialanamnese:

Familienanamnese:

STATUS:

Cor:

Pulm:

Abd:

Bewegungsapparat:

Neuro:



universität
wien

Zentrum für Sportwissenschaft
und Universitätssport



Abteilung für Sportmedizin,
Leistungsphysiologie
und Prävention

COVID-19:

Wann wurden Sie für SARS-CoV-2 positiv getestet (PCR)?

.....

Welche Symptome haben Sie bei sich beobachtet:

- ☐ Keine Symptome
- ☐ Fieber >38°
- ☐ Husten
- ☐ Atemnot
- ☐ Geruch-/Geschmacksverlust
- ☐ Kopfschmerzen
- ☐ Muskelschmerzen
- ☐ Müdigkeit
- ☐ Durchfall
- ☐ Übelkeit / Erbrechen

Andere:

Haben Sie nach der COVID-19 Erkrankung bei sich einige von folgenden Symptomen beobachtet?

- ☐ Müdigkeit
- ☐ Atemnot
- ☐ Erniedrigte Belastungsfähigkeit
- ☐ Husten
- ☐ Muskelschmerzen
- ☐ Brustschmerzen
- ☐ Konzentrationsschwäche
- ☐ Kopfschmerzen
- ☐ Schneller bzw. erhöhter Puls / Herzklopfen / Herzrasen

Andere:

Als wie schwer würden Sie den Krankheitsverlauf beurteilen? Bitte ankreuzen (0-symptomfrei, normales Selbstbefinden, 10 – sehr schwerer Verlauf)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Sind sie gegen COVID-19 geimpft worden?

- ☐ nein ☐ ja, Impfstoff Datum: 1. Impfung 2. Impfung 3. Impfung

Falls sie in der vorherigen Frage „ja“ angekreuzt haben, haben Sie nach der Impfung Nebenwirkungen beobachtet?

- ☐ nein ☐ ja, welche?..... Dauer der Symptome:

KARDIOVASKULÄRE RISIKOFAKTOREN:

(soweit bekannt)

Erhöhter Cholesterinspiegel:

- ☐ nein ☐ ja, Gesamtcholesterin:

Erhöhter Blutdruck:

- ☐ nein ☐ ja, Blutdruckwert:.....

Diabetes mellitus:

- ☐ nein ☐ Typ 1 ☐ Typ 2

Übergewicht:

- ☐ nein ☐ ja, BMI:

Nikotinkonsum:

- ☐ nein ☐ ja

Alkoholkonsum:

- ☐ nein ☐ ja, Häufigkeit:

Zigaretten/Tag seit wann?

.....



universität
wien

Zentrum für Sportwissenschaft
und Universitätssport



Abteilung für Sportmedizin,
Leistungsphysiologie
und Prävention

VEGETATIVE ANAMNESE: (allfällige Beschwerden)

Schlaf:

- ☐ gut ☐ mittel ☐ schlecht
☐ Einschlafprobleme
☐ Durchschlafprobleme

Appetit:

- ☐ normal
☐ vermindert
☐ gesteigert

Harn:

Stuhlgang Häufigkeit:

Stuhl:

- ☐ flüssig ☐ mittel/norm.
☐ hart/Verstopfung

Ernährung:

Für Frauen:

Monatsblutung:

- ☐ regelmäßig
☐ unregelmäßig
☐ sehr starke Blutung
☐ sehr starke Schmerzen
☐ sonstiges:

Alter bei der ersten Monatsblutung:

Anzahl der Kinder:

Anzahl der Schwangerschaften:

Für Männer:

Bundesheer-tauglichkeit

- ☐ ja ☐ nein, Warum?

Anhang E

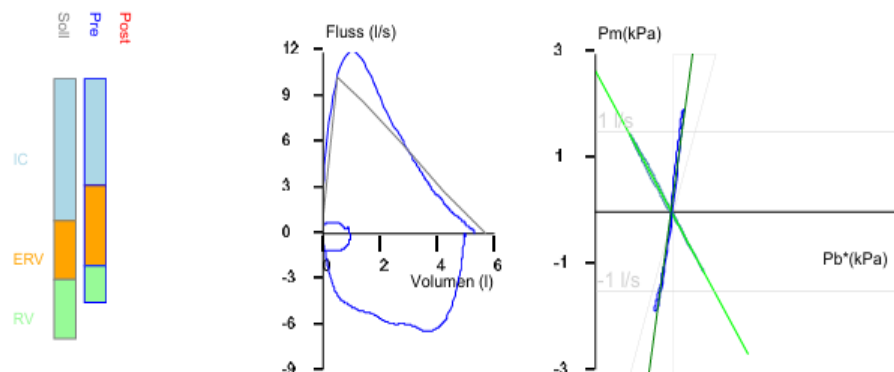


Universität Wien

Institut für Sportwissenschaft Abteilung für Sportmedizin,
Leistungsphysiologie und Prävention

Auf der Schmelz 6, A-1150 Wien

Name: [REDACTED] Größe: 182 cm Alter: 23 Jahre Geburtsdatum: [REDACTED]
ID: [REDACTED] Gewicht: 75 kg Geschlecht: männlich BMI: 22,6 kg/m²
Medikament: [REDACTED]



Parame...	Einheit	LLN	Soll	ULN	Pre	%Soll	ZScore
FEV1	l	3,96	4,90	5,81	4,73	97	
tex	s				2,8		
FVCex	l	4,75	5,87	7,00	5,36	91	
FEV1/FVC	%	73	84	94	88		
PEF	l/s	8,26	10,25	12,24	11,93	116	
MEF25	l/s	1,48	2,76	4,04	2,57	93	
MEF50	l/s	3,60	5,77	7,94	6,64	115	
MEF75	l/s	5,93	8,74	11,56	11,66	133	
MEF25-...	l/s	3,44	5,16	6,87	6,22	121	
VC	l	4,83	5,75	6,67	5,36	93	
IC	l		4,06		3,05	75	
TV	l				1,99		
ERV	l		1,69		2,31	137	
TGV	l	1,77	3,39	5,02	3,41	100	
TLC	l	6,31	7,46	8,61	6,42	86	
RV	l	1,03	1,70	2,38	1,05	62	
RAW	kPa/(l/s)	0,10	0,20	0,30	0,16	81	
GAW	(l/s)/kPa	3,33	6,66	9,99	6,18	93	
sRAW	kPa*s	0,19	0,68	1,16	0,55	81	

Kommentar:

Datum: 06.07.2022 Umgebungstemperatur: 23 °C MTA:
Zeit: 13:48 Umgebungsdruck: 992 hPa
Umgebungsfeuchte: 48 %

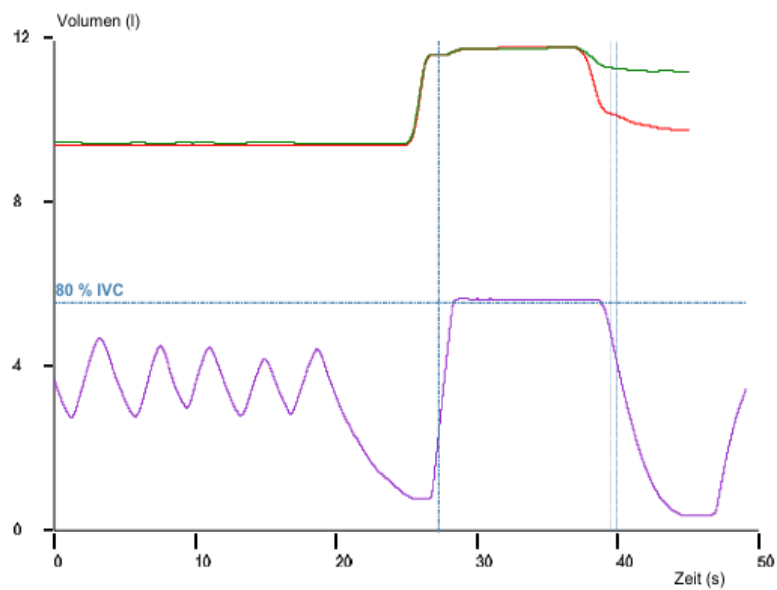
Name: XXXXXXXXXX

Größe: 182 cm Alter: 23 Jahre Geburtsdatum: [REDACTED]

ID: [REDACTED]

Gewicht: 75 kg Geschlecht: männlich BMI: 22,6 kg/m²

Medikament.



Parame...	Einheit	LLN	Soll	ULN	Pre	%Soll	ZScore
TLCO	mmol...		11,63		11,47	99	
KCO	mmol...		1,70		1,85	109	
FRC	l	1,77	3,39	5,02	4,00	118	
RV	l	1,03	1,70	2,38	1,57	92	
RV/TLC	%	14	23	32	23	96	
TLC	l	6,31	7,46	8,61	6,93	93	

Kommentar:

Datum: 06.07.2022
Zeit: 13:48

Umgebungstemperatur: 23 °C
Umgebungsdruck: 992 hPa
Umgebungsfeuchte: 48 %

MTA: