

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin

(Akademischer Vertreter Prof. Dr. med. Dirk Schädler)

im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel

an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Lungenfunktionstestung bei präoperativen Risikopatienten

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Natalia Urbaniak

aus Lübeck

Kiel 2024

1. Berichterstatter/in: Prof. Dr. Norbert Weiler
2. Berichterstatter/in: Prof. Dr. Jan Heyckendorf

Tag der mündlichen Prüfung: 14.10.2025

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 10.07.2025

gez. Prof. Dr. Norbert Weiler

(Vorsitzende/r der Prüfungskommission)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Anästhesiologische Prämedikation.....	1
1.2 Der Risikopatient.....	4
1.3 Lungenfunktionstestung	5
1.3.1 Klassische Spirometrie	5
1.3.2 Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid.....	10
1.4 Obstruktive Ventilationsstörung und COPD.....	13
1.5 Postoperative pulmonale Komplikationen	15
1.6 Nikotinabusus	15
1.7 Übergewicht und Adipositas	16
1.8 Fragestellung und Ziel	17
2 Methoden	17
2.1 Studiendesign und Ablauf.....	17
2.2 Medizinisches Material	19
2.3 Versuchsdurchführung	19
2.3.1 Forcierte Expiration.....	19
2.3.2 Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid.....	20
2.4 Qualitätsgrade und Schweregradeinteilung	21
2.5 Statistik.....	23
3 Ergebnisse	24
3.1 Studieneinschluss	24
3.2 Patientenkollektiv	29
3.3 Studienergebnisse	30
4 Diskussion.....	42
4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	42
4.2 Patientensicherheit und Ressourcenzuweisung	42
4.3 Vergleich der Studienkohorte mit der deutschen Bevölkerung	42
4.4 Postoperative pulmonale Komplikationen	43
4.5 Lungenfunktionsdiagnostik	45
4.6 Messung der Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid.....	46
4.7 Körperliche Fitness und Lungenfunktion.....	47
4.8 ASA-Klassifikation	49

4.9	Übergewicht und Adipositas	49
4.10	Tabakkonsum	50
4.11	Schlussfolgerung	51
4.12	Limitationen der Studie.....	51
5	Zusammenfassung	52
6	Literaturverzeichnis	55
7	Abbildungsverzeichnis	64
8	Tabellenverzeichnis	65
9	Anhang	66
9.1	Code zur Berechnung der Statistik mit dem Programm IBM® SPSS® Statistics	66
9.2	Abbildungsgenehmigungen	75
9.2.1	Abbildungsgenehmigung der Deutschen Atemwegsliga.....	75
9.2.2	Abbildungsgenehmigung der European Respiratory Society	77
10	Danksagung	80
11	Publikation.....	81

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform	Definition	Einheit
FVC	Forcierte Vitalkapazität (Forced vital capacity)	Volumen, welches nach kompletter Inspiration maximal forciert ausgeatmet werden kann	l (Liter)
FEV ₁	Forciertes expiratorisches Volumen nach 1 Sekunde (Forced expiratory volume in 1 second)	Volumen, welches nach kompletter Inspiration innerhalb einer Sekunde forciert ausgeatmet werden kann	l (Liter)
FEV ₁ /FVC	Relative Einsekundenkapazität/ Tiffeneau-Index	Forciertes expiratorischen Volumen in 1s ausgedrückt in % der Vitalkapazität	
FEF _{25-75%}	Forcierter expiratorischer Fluss (Forced expiratory flow)	Forcierter expiratorischer Fluss bei 25-75% der Vitalkapazität	l/s (Liter/Sekunde)
PEF	Expiratorischer Spitzenfluss (Peak expiratory flow)	Maximale Flussrate während der forcierten Expiration	l/s (Liter/Sekunde)
FET	Forcierte Expirationszeit (Forced expiratory time)	Länge der gesamten forcierten Ausatmung	s (Sekunden)
D _{LCO}	Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid (Diffusing capacity of the lung for carbon monoxide)	Fähigkeit der Lunge eingeatmetes CO mittels Diffusion aufzunehmen	ml/min/mmHg (Milliliter/Minute/Millimeter-Quecksilbersäule)
T _{LCO}	Transferfaktor für CO Transfer factor of the lung for CO	Synonym für D _{LCO}	mmol/min/kPa (Millimol/Minute/Kilopascal)

V_A	Alveolarvolumen (A lveolar v olume)	Volumen aller Lungenbläschen	l (Liter)
TLC	Totale Lungenkapazität (T otal lung c apacity)	Maximales Lungenvolumen, bestehend aus Vitalkapazität und Residualvolumen	l (Liter)
sb	Einatemzugmethode (S ingle b reath)	Messmethode der Lungenfunktionstestung bei welcher ein Gasgemisch mit kompletter Vitalkapazität eingeatmet und die Luft angehalten wird	/
V_I	Inspirationsvolumen (I nspiratory v olume)	Hier: Volumen des eingeatmeten Testgases	l (Liter)
BHT	Luftanhaltezeit (B reath h old t ime)	Zeitraum in welchem die Luft angehalten wird	s (Sekunden)
V_T	Atemzugvolumen (T idal v olume)	Volumen, welches mit einem Atemzug ruhig ein- bzw. ausgeatmet wird	l (Liter)
RV	Residualvolumen (R esidual v olume)	Volumen, welches auch nach maximaler Expiration in der Lunge verbleibt	l (Liter)

1 Einleitung

1.1 Anästhesiologische Prämedikation

Jeder Patient wird vor einer elektiven Operation von einem Anästhesisten über die geplante Narkose aufgeklärt und medizinisch auf diese vorbereitet. Das Ziel der Prämedikation ist es Risikokonstellationen, die zu perioperativen Komplikationen führen können, zu erkennen und das am besten geeignete Anästhesieverfahren für den Patienten auszuwählen. Die wichtigsten Aspekte der präoperativen Risikoevaluation sind die Anamnese, die körperliche Untersuchung und die Erfassung der körperlichen Belastbarkeit. Weiterführende diagnostische Untersuchungen werden nur bei Vorliegen bestimmter Risikokonstellationen empfohlen und nicht standardmäßig durchgeführt. Ziel der Risikoevaluation ist das Erfassen von bisher unbekannten oder unzureichend behandelten Erkrankungen, welche für die Narkose oder das operative Verfahren von Bedeutung sein könnten (Zwissler 2019) und möglicherweise Einfluss auf das perioperative Outcome haben. Die häufigsten narkosebedingten Komplikationen betreffen das kardiovaskuläre sowie das respiratorische System, sodass es bei diesen Organsystemen von besonderer Bedeutung ist, das Risiko des Patienten zu erkennen (Zwissler 2019). Ist dem Patienten eine Erkrankung des respiratorischen oder kardiovaskulären Systems weder bekannt, noch ist eine solche aktenkundig, wird von einem „Nicht-Risiko“ Patienten ausgegangen, ohne der Möglichkeit einer bisher unentdeckten Erkrankung nachzugehen. Dadurch kann potenzielles Risiko für den Patienten unerkannt bleiben. Die präoperative Evaluation sollte in einem ausreichenden zeitlichen Abstand vor dem operativen Eingriff erfolgen, da dies die Dauer des stationären Aufenthalts, die Anzahl abgesetzter Operationen sowie die Kosten senkt (Wijeysundera et al. 2009; Ferschl et al. 2005). Durch die zeitige präoperative Evaluation kann der Patient bestmöglich auf seinen Eingriff vorbereitet werden, indem bei Bedarf seine Medikation angepasst, Befunde anderer Fachärzte angefordert oder weitere Diagnostik durchgeführt wird.

Die präoperative Anamnese beinhaltet das Erfassen von für die Narkose oder Operation wichtigen Vorerkrankungen. Diese Vorerkrankungen werden auch als Komorbiditäten bezeichnet. Mithilfe der ASA-Klassifikation ordnet der Anästhesist den Patienten anhand seiner Komorbiditäten einer von sechs Kategorien zu (s. Tab. 1)(Saklad 1941). „ASA“ steht für „American Society of Anesthesiologists“ und ist eine US-amerikanische Fachgesellschaft für Anästhesiologie, welche regelmäßig Leitlinien und wissenschaftliche Artikel im Themengebiet der Anästhesiologie publiziert. Die international weit verbreitete ASA-Klassifikation wurde von dieser Fachgesellschaft entwickelt und nach ihr benannt. Für jede ASA Kategorie stehen dem Arzt Beispiele zur Verfügung (Doyle et al. 2021). Je höher die ASA-Klasse, desto höher wird auch das perioperative Risiko

eingeschätzt (Irlbeck et al. 2017). Des Weiteren wird eine gründliche Medikamentenanamnese durchgeführt und die präoperative Medikation angepasst. Alle für den operativen Eingriff relevanten Befunde, wie Vorerkrankungen, Medikation, ASA-Klasse und körperliche Belastbarkeit werden auf dem Narkoseprotokoll vermerkt.

Die Evaluation der Lunge und der Atemwege dient der Reduktion perioperativer pulmonaler Komplikationen. Hier kommen Scores zur Anwendung, die die Eintrittswahrscheinlichkeit solcher Komplikationen einschätzen. So sind eine niedrige präoperative arterielle Sauerstoffsättigung, mindestens ein respiratorisches Symptom, eine Herzinsuffizienz, chronische Lebererkrankung, ein Notfalleingriff, die Art der Operation und die Operationsdauer relevante Risikofaktoren für das Eintreten einer postoperativen pulmonalen Insuffizienz (Canet et al. 2015). Der „Score for prediction of postoperative respiratory complications“ (SPORC-Score) beschreibt eine ASA-Klasse von ≥ 3 , einen Notfall- oder Hochrisikoeingriff, eine Herzinsuffizienz oder chronische pulmonale Erkrankung als Risikofaktoren pulmonaler Komplikationen (Brueckmann et al. 2013). Eine Lungenfunktionsdiagnostik wird bei neu aufgetretenen pulmonalen Symptomen oder bei Verdacht auf eine pulmonale Erkrankung durchgeführt (Zwissler 2019). Auch vor großen Oberbaueingriffen scheint eine Lungenfunktionsdiagnostik sinnvoll zu sein, um die perioperative Morbidität und Letalität zu senken (Ohrlander et al. 2012; Jeong et al. 2013). Canet et al stellte dabei einen moderaten Zusammenhang zwischen pathologischen Lungenfunktionsbefunden und dem Auftreten pulmonaler Komplikationen fest (Canet et al. 2010).

Das kardiovaskuläre Risiko wird mithilfe etablierter Scores ermittelt. Der Revised Cardiac Risk Index (RCRI) nach Lee gibt Aufschluss über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens schwerer kardialer Komplikationen und erfasst hierzu das Vorhandensein einer Herzinsuffizienz, einer Koronaren Herzkrankheit, einer zerebrovaskulären Insuffizienz, eines insulinpflichtigen Diabetes mellitus oder einer Niereninsuffizienz. Je mehr Risikofaktoren vom Patienten erfüllt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit kardialer Komplikationen (Lee et al. 1999). Der „Myocardial Infarction and Cardiac Arrest Score“ (MICA) schätzt die Wahrscheinlichkeit für das perioperative Auftreten eines Myokardinfarktes oder Herztodes ein. Der Score beinhaltet die ASA-Klasse, das Risiko der Operation, das Alter, die Nierenfunktion und den Versorgungszustand (selbstversorgend oder pflegebedürftig) des Patienten (Kristensen et al. 2014).

Die körperliche Belastbarkeit des Patienten wird in metabolischen Äquivalenten (MET) angegeben. Der Ruheumsatz eines Menschen entspricht einem metabolischen Äquivalent und das Treppensteigen in den zweiten Stock erfordert mindestens vier metabolische Äquivalente (Fleg et al. 2000; Eagle et al. 2002). Eine gute körperliche Belastbarkeit gilt als hervorragender Prädiktor für ein positives perioperatives Outcome (Zwissler 2019). Liegt die selbstangegebene

körperliche Belastbarkeit eines Patienten unterhalb von vier metabolischen Äquivalenten erhöht sich unabhängig vom Alter die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten myokardialer Ischämien und neurologischer Komplikationen (Reilly et al. 1999). Die Ermittlung der metabolischen Äquivalente erfolgt durch Befragen des Patienten nach seinen körperlichen Fähigkeiten im Alltag (Zwissler 2019; Doyle et al. 2021; Horvath et al. 2021; Böhmer 2021).

Tab. 1 ASA-Klassifikation zur Beurteilung des Allgemeinzustandes und der Vorerkrankungen eines Patienten

ASA-Klassifikation	Definition	Beispiele
ASA I	Gesunder Nichtraucher, kein oder minimaler Alkoholkonsum	Gesunder Patient ohne akute oder chronische Erkrankungen, normaler BMI
ASA II	Patient mit milder systemischer Erkrankung	Milde Erkrankung ohne größere funktionelle Einschränkungen. Raucher, regelmäßiger Alkoholkonsum, Schwangerschaft, Adipositas (BMI 30-40 kg/m ²), gut eingestellter Diabetes Mellitus
ASA III	Patient mit schwerer systemischer Erkrankung	Schlecht eingestellter Diabetes Mellitus, COPD, BMI >40 kg/m ² , Hepatitis, Drogenmissbrauch, terminale Niereninsuffizienz mit Dialysepflichtigkeit, Herzschrittmacher
ASA IV	Patient mit einer schweren systemischen jederzeit lebensbedrohlichen Erkrankung	Myokardinfarkt, schwere Herzklappenvitien, Sepsis, akutes Nierenversagen

ASA V	Patient welcher ohne Operation nicht überleben würde	Rupturiertes Aortenaneurysma, schweres Polytrauma, intrakranielle Blutungen mit Hirndruckerhöhung, Multiorganversagen
ASA VI	Ein hirntoter Patient dessen Organe entnommen werden sollen	Organspende

ASA: American Society of Anesthesiologists, BMI: Body Mass Index, COPD: Chronisch obstruktive Lungenerkrankung

1.2 Der Risikopatient

Das Narkoserisiko für die Patienten besteht vor allem im kardiovaskulären und pulmonalen Bereich. Aufgrund dessen werden für diese Organsysteme Risikoscores erhoben und nach Einschätzung des Anästhesisten weitere apparative Diagnostik angeordnet (Zwissler 2019). Die Einschätzung der körperlichen Belastbarkeit des Patienten in Form von metabolischen Äquivalenten liefert einen wichtigen Baustein, um das kardiopulmonale Risiko zu beurteilen (Kristensen et al. 2014). Weitere allgemein anerkannte Risikofaktoren für die Anästhesie sind die Anzahl von Begleiterkrankungen und das hohe Patientenalter. Die Einteilung der Patienten in ASA-Klassen stellt einen wichtigen Prädiktor für anästhesiebezogene Morbidität und Mortalität dar (Beinlich 1991). Je älter ein Patient, desto mehr chronische Erkrankungen sind anzunehmen und desto höher fällt die entsprechende ASA-Klasse aus. Patienten mit höherer ASA-Klasse haben unter anderem ein erhöhtes Risiko für einen perioperativen Herzstillstand (Nunes et al. 2014). Marwell et al. erfasste ein hohes Patientenalter als allgemeinen Risikofaktor für postoperative Morbidität und Mortalität und als speziellen Risikofaktor für pulmonale Komplikationen (Marwell et al. 2018). Zahlreiche weitere Studien nennen ein erhöhtes Patientenalter als Risikoindikator pulmonaler unerwünschter Ereignisse (Yang et al. 2015; Fernandez-Bustamante et al. 2017; Genovese et al. 2017).

Risikopatienten sollten bereits während der anästhesiologischen Prämedikation identifiziert werden, um die postoperative Versorgung der Patienten optimal zu planen und die Bettenbelegung der Stationen bestmöglich koordinieren zu können. Einen möglichen Ansatz zur Identifizierung von Patienten mit postoperativem Bedarf an intensivmedizinischer Überwachung

liefert der sog. EXPO-Score, welcher in der täglichen Praxis der Anästhesieambulanz in Kiel bereits zur Anwendung kommt. Der Score berechnet sich aus der ASA-Klasse des Patienten, der Anzahl der metabolischen Äquivalente und der Art des operativen Eingriffs. Aus diesen drei Parametern wird ein Risikoindex berechnet, welcher ab einem bestimmten Grenzwert die Indikation für eine postoperative intensivmedizinische Überwachung stellt. Bei weniger als vier metabolischen Äquivalenten wird davon ausgegangen, dass diese verminderte Belastbarkeit einer kardialen oder pulmonalen Genese zuzuordnen ist. Die Herz- oder Lungenfunktion selbst findet jedoch keinen direkten Eingang in den Score (Iden et al. 2019).

1.3 Lungenfunktionstestung

1.3.1 Klassische Spirometrie

Für die Evaluation der Lungenfunktion steht neben der Anamnese, der körperlichen Untersuchung und gängigen Scoring Systemen die apparative Diagnostik zur Verfügung. Hierzu zählen die Röntgen-Thoraxaufnahme, die Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung am Pulsoxymeter und die Spirometrie (Zwissler 2019).

Die Spirometrie ist ein einfaches, nicht invasives und objektives Verfahren zur Bestimmung der Lungenfunktion. Der Begriff „Spirometrie“ bezeichnet die Messung von Lungenvolumina und Atemflüssen. Das hier vorgestellte Verfahren wird im weiteren Verlauf als „klassische Spirometrie“ bezeichnet. Die Messung der Lungenparameter erfolgt mithilfe von Strömungs- oder Volumensensoren. Bei Strömungssensoren werden die geatmeten Atemströme direkt vom Messgerät erfasst und die Atemvolumina berechnet, indem die gemessene Strömung über die Zeit integriert wird. Bei Volumensensoren hingegen werden die geatmeten Lungenvolumina direkt gemessen und die Strömung wird über die Volumendifferenzen bestimmt (Criée et al. 2015). Die Spirometrie kann in offenen oder geschlossenen Systemen erfolgen. Bei geschlossenen Systemen atmet der Patient in einen definierten Behälter ein- und aus, bei offenen Systemen atmet der Patient Raumluft. Pneumotachographen sind eine besondere Art von Spirometern und messen den Atemfluss von Probanden in einem offenen System. Dabei wird der Atemfluss über Druckdifferenzen oder mittels Ultraschallsensoren gemessen. Bei der Ultraschalltechnik sind im Atemrohr zwei Überträger gegenüber voneinander angebracht. Diese dienen sowohl als Sender als auch als Empfänger von Ultraschallimpulsen. Während der Proband durch das Atemrohr atmet, werden Ultraschallimpulse ausgesandt, von dem Atemstrom beschleunigt und vom gegenüberliegenden Überträger aufgefangen. In entgegengesetzter Richtung wiederum werden die Ultraschallimpulse durch den Atemstrom verlangsamt. Die Laufzeitunterschiede der Impulse, um von einem Überträger zum anderen zu gelangen, werden vom Gerät erfasst und mithilfe dieser Zeitunterschiede die Atemstromstärke berechnet. Wird diese Atemstromstärke über die Zeit

integriert erhält man Volumina (Buess et al. 1986). Alle auf diese Weise errechneten Atemströmungen- und Volumina werden auf BTPS (body temperature pressure water vapor saturated) Bedingungen normiert, d.h. dass die bei Raumbedingungen gemessenen Parameter an Verhältnisse, wie sie in der Lunge vorherrschen, angepasst werden.

Die Spirometrie erlaubt die Messung zahlreicher Parameter, deren Verständnis für die Interpretation der Versuchsergebnisse essenziell ist (s. Abb. 1). Ein gesunder Mensch atmet in Ruhe ein bestimmtes Volumen an Luft ein- und aus, dieses Atemzugvolumen wird auch als Tidalvolumen (V_T) bezeichnet. Ebenso kann ein Mensch neben dem normalen Atemzugvolumen maximal tief ein- oder maximal tief ausatmen. Dasjenige Volumen welches zusätzlich zum normalen Tidalvolumen ein- bzw. ausgeatmet werden kann, nennt man inspiratorisches- (IRV) bzw. expiratorisches Reservevolumen (ERV). Addiert man das Atemzugvolumen zu in- und expiratorischem Reservevolumen erhält man die Vitalkapazität (VC). Die Vitalkapazität kann man als inspiratorische (IVC) oder expiratorische Vitalkapazität (EVC) messen. Bei der inspiratorischen Vitalkapazität lässt man den Patienten erst maximal ausatmen und dann zügig tief Luft holen. Bei der expiratorischen Vitalkapazität hingegen bittet man den Patienten erst maximal tief Luft zu holen und dann alle Luft wieder auszuatmen. Die expiratorische Vitalkapazität wird bei schneller forcierter Ausatmung als forcierte Vitalkapazität (FVC) bezeichnet. Doch auch bei maximaler Ausatmung bleibt immer ein bestimmtes Volumen in der Lunge zurück. Dieses wird als Residualvolumen (RV) bezeichnet und kann mit der klassischen Spirometrie nicht erfasst werden. Als funktionelle Residualkapazität (FRC) bezeichnet man die Summe aus Residualvolumen und expiratorischem Reservevolumen. Die funktionelle Residualkapazität ist somit dasjenige Volumen, welches nach einer normalen, entspannten Ausatmung in der Lunge verbleibt. Die totale Lungenkapazität (TLC) wiederum ist die Summe aus Vitalkapazität und Residualvolumen. Diese Parameter gehören zu den statischen Funktionsparametern, da sie unabhängig von der Zeit gemessen und nur als ein Volumen in Litern (L_{BTPS}) angegeben werden. Dem gegenüber stehen die dynamischen Lungenfunktionsparameter, welche abhängig vom zeitlichen Verlauf bestimmt und in Litern pro Sekunde ($L \times s^{-1}$) angegeben werden. Hierzu gehört das forcierte expiratorische Volumen in einer Sekunde (FEV_1). Der Begriff „forciert“ bedeutet, dass das jeweilige Atemmanöver unter maximaler Anstrengung des Probanden durchgeführt wird. Bei der FEV_1 bittet man den Probanden maximal tief Luft zu holen und dann so schnell und so kräftig wie möglich auszuatmen. Das Gerät misst, wie viel Volumen der Patient innerhalb einer Sekunde nach Beginn der Ausatmung abatmen konnte. Der expiratorische Spitzenfluss (PEF) gibt die maximale Atemflussrate während des Manövers in Litern pro Sekunde an. Ebenso kann man die mittlere Atemflussrate in der Phase, in der 25-75% der Vitalkapazität ausgeatmet worden sind, bestimmen. Diese Werte bezeichnet man als mittlere maximale expiratorische

Atemstromstärken ($FEF_{25-75\%}$). Man kann statische und dynamische Parameter auch in Beziehung zueinander setzen und erhält dadurch u.a. den Tiffeneau-Index. Dieser Index wird auch relative Einsekundenkapazität genannt und drückt das forcierte expiratorische Volumen innerhalb einer Sekunde in Prozent der Vitalkapazität aus (FEV_1/FVC) (Criée et al. 2015).

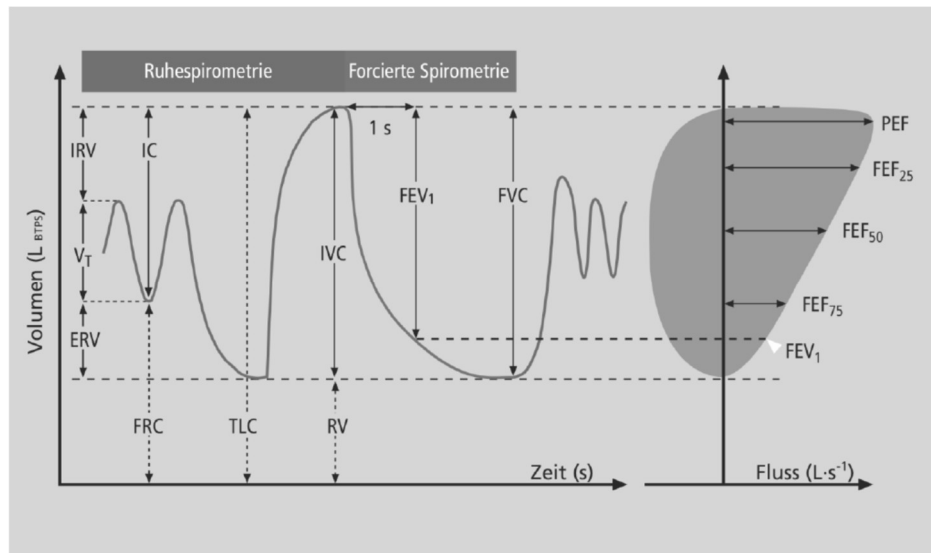


Abb. 1 Dynamische und statische Lungenfunktionsparameter der Ruhespirometrie und forcierten Spirometrie.

IRV =Inspiratorisches Reservevolumen, V_T =Tidalvolumen, ERV =Expiratorisches Reservevolumen, IC =Inspiratorische Kapazität, FRC = Funktionelle Residualkapazität, TLC = Totale Lungenkapazität, IVC =Inspiratorische Vitalkapazität, RV =Residualvolumen, FEV_1 =Forciertes expiratorisches Volumen in 1 Sekunde, FVC =Forcierte Vitalkapazität, PEF =Expiratorischer Spitzenfluss, FEF_{xx} =Expiratorischer Spitzenfluss bei xx % der Vitalkapazität

Abbildung aus Criée et al. (2015). Mit freundlicher Genehmigung der Deutschen Atemwegsliga e. V.

Als forcierte Expiration wird ein Atemmanöver bezeichnet, bei welchem der Proband bis zur totalen Lungenkapazität einatmet, um anschließend mit maximaler Atemanstrengung so zügig wie möglich bis zum Residualvolumen auszuatmen. Dieser Versuch dient v. a. der Erfassung expiratorischer Parameter, wie dem forcierten expiratorischen Volumen in 1 Sekunde, dem Tiffeneau-Index, dem expiratorischen Spitzenfluss und dem mittleren forcierten expiratorischen Fluss bei 25-75% der Vitalkapazität.

Trägt man den Atemfluss in $L \times s^{-1}$ auf der y-Achse gegen das geatmete Volumen in L auf der x-Achse auf, erhält man eine Flussvolumenkurve der Spirometrie. Die Flussvolumenkurve stellt die Expiration oberhalb und die Inspiration unterhalb der x-Achse dar. Anhand der Form der Kurve

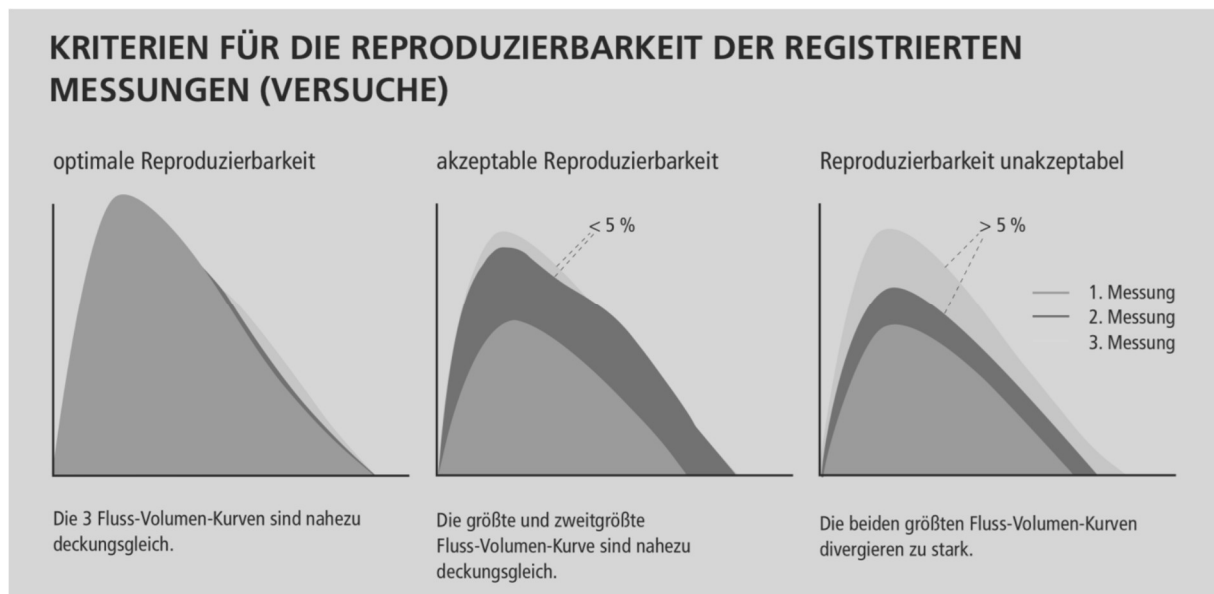


Abb. 2 Flussvolumenkurven eines forcierten Expirationsversuchs und ihre Reproduzierbarkeit.

Abbildung aus Criée et al. (2015). Mit freundlicher Genehmigung der Deutschen Atemwegsliga e. V.

können die Reproduzierbarkeit der Versuche, mögliche Pathologien der Lunge aber auch Fehler bei der Versuchsdurchführung erkannt werden. Diese Gegebenheiten sollen anhand eines forcierten Expirationsversuchs exemplarisch dargestellt werden. Mehrere Versuche eines Probanden sind dann reproduzierbar, wenn die Flussvolumenkurven der einzelnen Versuche nur gering voneinander abweichen. Je weniger Deckungsgleich die einzelnen Kurven sind, desto weniger valide sind die Messergebnisse. Bei der Durchführung von drei Versuchen sollten die beiden größten Flussvolumenkurven nicht mehr als 5% voneinander abweichen (s. Abb. 2).

Fehler bei der Versuchsdurchführung lassen sich ebenfalls an der Form der Kurve ablesen. Zeigt die Kurve zu Beginn der Expiration keinen steilen Anstieg, deutet dies auf ein Zögern des Patienten vor der Ausatmung hin und man sollte den Patienten auffordern so schlagkräftig wie möglich auszuatmen (s. Abb. 3). Hustet der Patient während der Ausatmung, erscheint eine Kerbe in der Kurve und atmet der Patient „zu entspannt“, ohne die Anwendung maximaler Anstrengung, wird sich die Kurve stark abgeflacht zeigen. Eine im Gegensatz zur vorherigen Versuchsdurchführung parallel verkleinerte Kurve, deutet auf eine submaximale Inspiration vor der Expiration hin und eine scharf abgeschnittene, nicht sich flach an die x-Achse anschmiegende Kurve zeigt den vorzeitigen Abbruch einer Expiration (s. Abb. 3). Zeichnet man im forcierten Expirationsversuch auch die Einatemkurve mit auf, bedeutet eine nicht vollständig geschlossene Flusskurve eine unvollständige Ausatmung (s. Abb. 3).

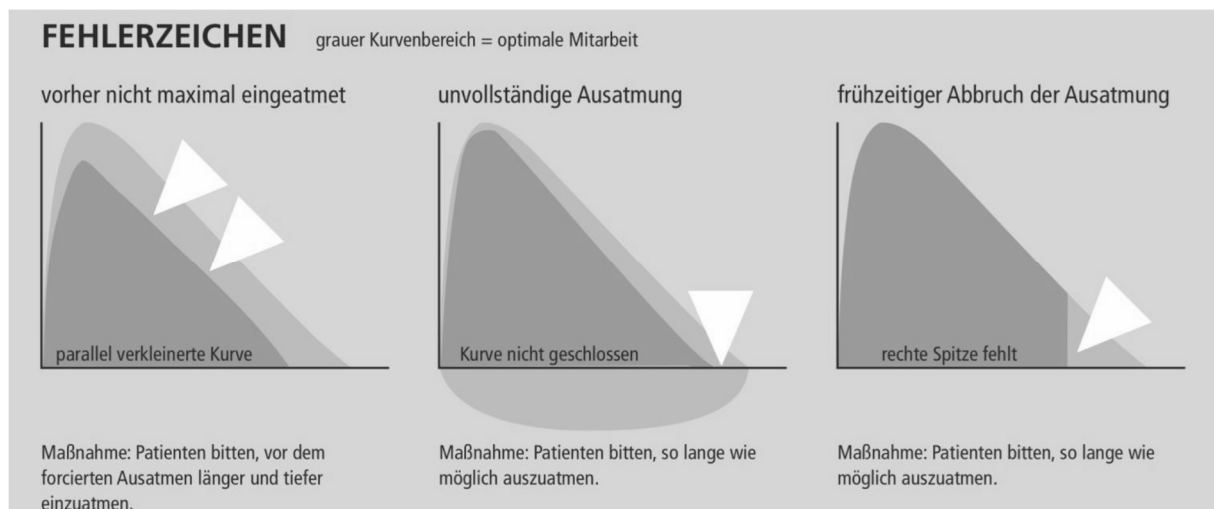
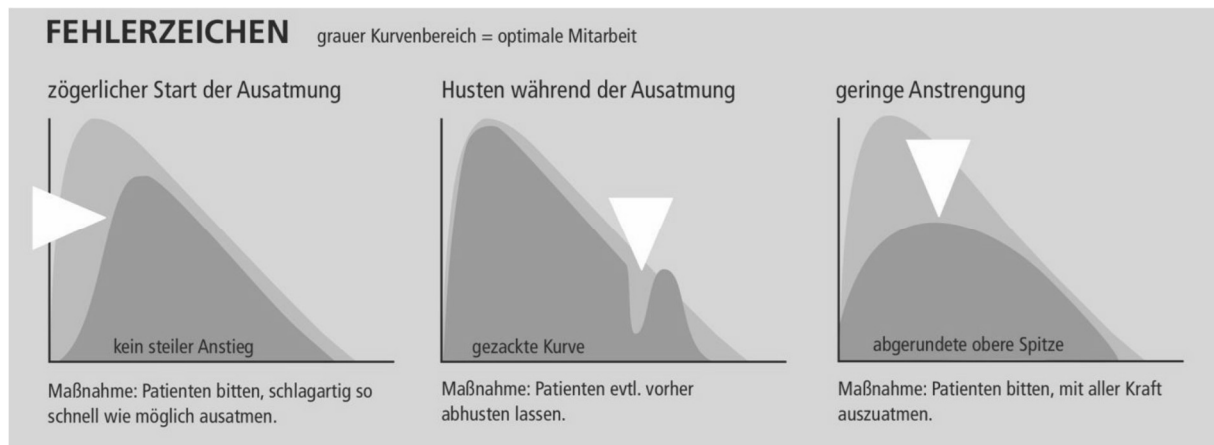


Abb. 3 Fehlerzeichen der Flussvolumenkurve bei inadäquater Durchführung eines forcierten Expirationsversuchs.

Abbildung aus Criée et al. (2015). Mit freundlicher Genehmigung der Deutschen Atemwegsliga e.V

Die Flussvolumenkurve zeigt bei einem gesunden Menschen eine typische Form und kann sich krankheitsbedingt verändern. Die zwei wichtigsten Pathologien über welche die Form der Flussvolumenkurve Aufschluss geben kann, sind die Obstruktion und Restriktion (s. Abb. 4). Eine obstruktive Ventilationsstörung wie sie z.B. bei Asthma oder der chronischen obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) vorkommt, zeigt bei der Flussvolumenkurve eine deutliche konkave Eindellung mit erniedrigtem expiratorischem Spitzenfluss (s. Abb. 4). Eine restriktive Ventilationsstörung kann allein durch die klassische Spirometrie nicht diagnostiziert werden, jedoch kann auch hier die Kurvenform erste Anhalte für eine solche Erkrankung geben. Dabei bleibt die Kurvenform, wie sie sich bei einem gesunden Probanden darstellt, weitgehend erhalten. Jedoch erscheint diese deutlich verkleinert (s. Abb. 4). Meist sind sowohl der expiratorische

Spitzenfluss als auch die forcierte Vitalkapazität erniedrigt. Durch das Verständnis und die korrekte Interpretation der Flussvolumenkurve können somit sowohl ein Verdacht für eine Lungenerkrankungen geäußert, sowie Fehler in der Versuchsdurchführung erkannt und verbessert werden.

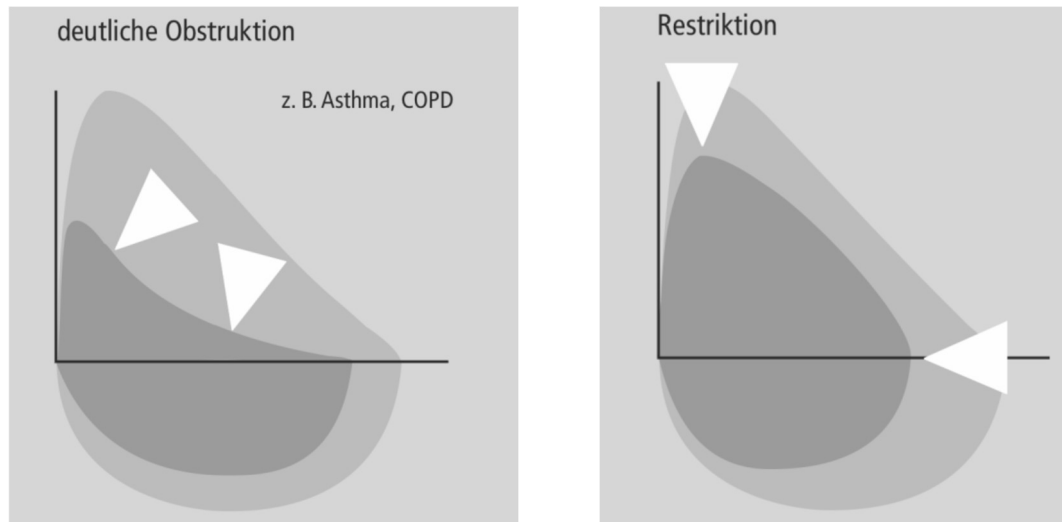


Abb. 4 Flussvolumenkurven eines forcierten Expirationsversuches mit Darstellung einer obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörung.

Abbildung aus Criée et al. (2015). Mit freundlicher Genehmigung der Deutschen Atemwegsliga e.V.

1.3.2 Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Zu den Aufgabenbereichen der Lunge zählt nicht nur die Ventilation sondern auch die Diffusion von Atemgasen. Diese diffundieren frei entlang ihres Konzentrationsgradienten von der in den Alveolen befindlichen Atemluft ins Blut und umgekehrt. Die Alveolen und terminalen kleinen Atemwege sind diejenigen Orte, wo der Gasaustausch innerhalb der Lunge stattfindet. Durch die Lungenkapillaren wiederum fließt das zu oxygenierende Blut. Bei der Diffusion von Atemgasen soll O_2 ins Blut aufgenommen und CO_2 aus dem Blut abgegeben werden. Für die Bewertung der Diffusionsfähigkeit der Lunge reicht die klassische Spirometrie mit der Messung von Atemvolumina und Flüssen nicht aus, weshalb hierfür ergänzende Verfahren entwickelt wurden. Die direkte Messung der Sauerstoffaufnahme (D_{LO_2}) ist technisch aufwendig, sodass es sich in der medizinischen Praxis etabliert hat, stattdessen die Kohlenstoffmonoxidaufnahme (D_{LCO}) zu messen. Sauerstoff- und Kohlenstoffmonoxidaufnahme stehen in einem festen Verhältnis von 1:0,83 zueinander, sodass die Messung des einen Wertes Rückschlüsse auf den zweiten Wert erlaubt (Haber 2013). Die Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid (D_{LCO}) wird

grundlegend von mehreren Faktoren beeinflusst, welche sich im Fick'schen Diffusionsgesetz wiederfinden:

$$V = \frac{\Delta P \times A \times D}{d}$$

Die Diffusionsstromstärke V eines Gases ist proportional zum Partialdruckunterschied ΔP dieses Gases, welches sich in zwei unterschiedlichen Kompartimenten befindet und durch eine Membran voneinander getrennt wird. Je größer der Partialdruckunterschied desto größer die treibende Kraft der Diffusion. Je größer die Oberfläche A , die für den Gasaustausch zur Verfügung steht, desto mehr und je dicker die Membran d , die die zu diffundierenden Stoffe voneinander trennt, desto weniger Diffusion findet statt. D ist ein gasabhängiger Diffusionskoeffizient. Bezieht man diese Eigenschaften auf den menschlichen Körper, kann man ΔP als die Partialdruckdifferenz zwischen Alveole P_A und pulmonaler Kapillare P_c beschreiben.

$$\Delta P = (P_A - P_c)$$

Das Alveolarvolumen ist die Summe aller Volumina, die von den Lungenbläschen eingefasst werden und repräsentiert damit die Oberfläche, die für die Diffusion von Atemgasen zur Verfügung steht. Die alveolokapilläre Membran ist die Diffusionsstrecke, die von den Atemgasen zurückgelegt werden muss und setzt sich aus den Alveolarwänden, einer gemeinsamen Basalmembran und dem Gefäßendothel der Lungenkapillaren zusammen (Pape et al. 2019). Der D_{LCO} -Wert hängt maßgeblich von P_A und P_c ab. Dieser Umstand kommt im klinischen Alltag regelmäßig in Form von Nikotinabusus zum Tragen, da dieser den kapillären CO-Partialdruck ansteigen lässt. Durch diesen erhöhten kapillären CO-Gehalt ist die treibende Kraft der CO-Diffusion von alveolär nach kapillär vermindert und die D_{LCO} wird falsch niedrig eingeschätzt. Mithilfe standardisierter Gleichungen kann die gemessene D_{LCO} dem erhöhten CO-Partialdruck angepasst werden. Der alveoläre Gasaustausch ist mit der Ventilation und Diffusion jedoch noch nicht abgeschlossen. Als letzter Schritt müssen die diffundierten Atemgase noch an das Hämoglobin binden, um im Körper verteilt werden zu können. Ein Mensch mit wenig Hämoglobin hat somit weniger Bindungsstellen für die Atemgase, sodass die Diffusion eingeschränkt abläuft. Auch für diese Überlegung existieren entsprechende Gleichungen, um die Unterschiede in der Hämoglobinkonzentration auszugleichen (Graham et al. 2017).

Die D_{LCO} kann in Kombination mit Lungenparametern aus der klassischen Spirometrie und Ganzkörperplethysmographie dazu verwendet werden, eine zugrundeliegende Lungenerkrankung gezielter zu identifizieren (Pellegrino et al. 2005). Für die Ermittlung der D_{LCO} kommt ein Testgas zum Einsatz, welches Sauerstoff in normaler Raumluftkonzentration, Kohlenstoffmonoxid (CO), ein nicht lungengängiges Tracergas (meistens Helium) und Stickstoff zur Aufsättigung enthält. Bei der Einatemzugmethode atmet der Patient bis zum Residualvolumen aus, um dann das Testgas bis zur totalen Lungenkapazität einzuatmen und für zehn Sekunden die Luft anzuhalten (Blakemore et al. 1957). In dieser Zeit gelangt das eingeatmete CO mittels Diffusion in die Blutbahn, sodass nach anschließender Ausatmung die Differenz der CO-Partialdrücke zwischen Inspirations- und Expirationsluft bestimmt werden kann. Anhand dieser Differenz wird auf die Diffusionskapazität der Lunge geschlossen. Um die D_{LCO} korrekt berechnen zu können, muss dasjenige Gasvolumen analysiert werden, welches aktiv am Gasaustausch teilgenommen hat. Der Gasaustausch findet in den Alveolen und den zuführenden kleinen Atemwegen (Bronchioli respiratorii) statt. Alle vorab gelegenen Abschnitte des Atemwegs nehmen nicht am Gasaustausch teil und werden als anatomischer Totraum bezeichnet. Die Luft, welche sich im anatomischen Totraum befindet, nennt man Totraumvolumen. Führt man eine Spirometrie durch, erweitert sich der physiologische Totraum des Probanden um den gerätebedingten Totraum bestehend aus dem Mundstück und der zuführenden Gasleitung. Soll die Diffusionskapazität der Lunge gemessen werden, muss eine alveoläre Gasprobe untersucht werden. Die erste Luft, die ein Proband nach der Atemanhaltezeit ausatmet, stammt aus dem Totraum, sodass die ersten 0,5 – 1,0 l des Ausatemgases verworfen werden, bevor eine alveoläre Gasprobe gesammelt wird. Diese Gasprobe wird für die Berechnung der Diffusionskapazität verwendet. Moderne Spirometer messen die Konzentration von Testgas und Kohlenstoffmonoxid kontinuierlich über den gesamten Versuch hinweg. Ein integrierter Algorithmus registriert dabei das Erreichen eines Plateaus der Tracergaskonzentration und bestimmt hier den Beginn des alveolären Atemgases. Der Zeitpunkt, bei welchem die alveoläre Gasprobe gesammelt wird, wird vom Spirometer markiert (s. Abb. 5). Das Helium im Testgas dient sowohl der Bestimmung des Alveolarvolumens als auch der Bestimmung der alveolären CO-Konzentration bei Beginn der Atemanhaltezeit (Blakemore et al. 1957).

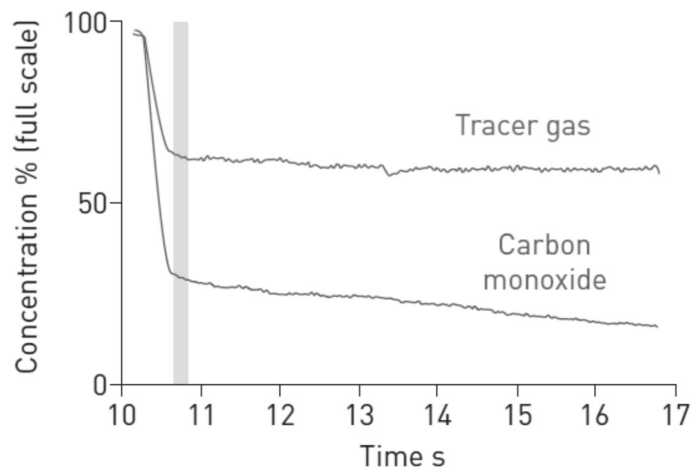


Abb. 5 Kontinuierliche Messung der Gaskonzentrationen bei einer Diffusionskapazitätstestung

Tracer gas=Testgas, meist Helium, Carbon monoxide= Kohlenstoffmonoxid. Grau hinterlegt ist die alveoläre Sammelprobe.

Abbildung aus Graham et al. (2017). Mit freundlicher Genehmigung der ©ERS 2022 (European Respiratory Society).

Aktuelle Standards für die Durchführung und Geräteanforderungen für einen D_{LCO} Versuch wurden 2017 von der European Respiratory Society und der American Thoracic Society veröffentlicht (Graham et al. 2017). Mithilfe des D_{LCO} -Versuches können neben den klassischen Parametern das Alveolarvolumen, Residualvolumen, die TLC und die D_{LCO} selbst ermittelt werden.

1.4 Obstruktive Ventilationsstörung und COPD

Eine obstruktive Ventilationsstörung ist definiert als Verminderung des Tiffeneau-Index (FEV_1/FVC) auf Werte unterhalb des unteren Grenzwertes. Dieser untere Grenzwert wird beim 5. Perzentil gezogen und liegt -1,645 Standardabweichungen unterhalb der Norm einer Gaußschen Normalverteilung. Eine Obstruktion ist durch eine erschwerte Ausatmung charakterisiert, sodass v.a. die maximalen expiratorischen Atemstromstärken erniedrigt sind. Eine Obstruktion kann je nach Erkrankung reversibel oder irreversibel sein. Die zwei häufigsten Erkrankungen mit obstruktivem Ventilationsmuster sind Asthma und COPD. Die Reversibilität der Obstruktion kann mittels eines Bronchodilatatortests eruiert werden (Criée et al. 2015).

Die COPD ist eine nicht reversible Atemwegsobstruktion und gehört mit zu den führenden Todesursachen weltweit (Vos et al. 2016). Die COPD ist eine erworbene Erkrankung, welche durchschnittlich ab dem mittleren Lebensalter auftritt und eine höhere Prävalenz bei Männern als bei Frauen zeigt. Größter maßgeblich zur Entstehung der COPD beitragender Faktor ist der regelmäßige Tabakkonsum. Symptomatisch äußert sich die Erkrankung durch Husten mit Auswurf und Atemnot unter Belastung. Diese Symptome werden durch Zerstörung von Lungengewebe

und Alveolen, eine fortschreitende Entzündung der Bronchien und durch Verengung der Atemwege verursacht. Die Behandlung der COPD erfolgt symptomatisch, eine kurative Therapie bzw. eine ursächliche Besserung der Erkrankung kann nur durch Aufgabe des Rauchens erreicht werden. Therapeutisch kommen hierbei v.a. sympathomimetische Bronchodilatoren, Muskarinrezeptorantagonisten und Kortikosteroide zum Einsatz. Die Diagnose einer COPD erfolgt anhand der typischen Symptomkonstellation und der Feststellung einer persistierenden Obstruktion nach Bronchodilatortest in der Spirometrie ($FEV_1/FVC < 0,70$) (© 2020, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease; Gibson GJ, Loddenkemper R, Sibille Y, Lundbäck B, eds. 2013). Häufig besteht eine Komorbidität zwischen COPD und anderen chronischen Erkrankungen wie z.B. Herz-Kreislauferkrankungen. Das „Cor pulmonale“ bezeichnet eine ausgeprägte Rechtsherzhypertrophie mit konsekutiver Rechtsherzinsuffizienz und ist eine unmittelbare Folge der COPD (Poldermans et al. 2009).

Patienten mit einer Obstruktion haben ein deutlich erhöhtes Risiko für intra- und postoperative pulmonale Komplikationen und bedürfen deshalb eines besonders sorgsam perioperativen Managements (Striebel 2019). Präoperativ sollte die Obstruktion so gut wie möglich mit Bronchodilatoren und Kortikosteroiden eingestellt werden. Zudem sollte auf obere Atemwegsinfekte geachtet und diese bei Bedarf vor der Operation behandelt werden. Sofern bei dem Patienten ein aktueller Nikotinabusus vorliegt, ist diesem eine Entwöhnung anzuraten und bei einem mangelnden Ernährungszustand sollte auch dieser präoperativ mit gezielter Ernährungsintervention verbessert werden (Lumb 2019; Kohut et al. 2005). Bei der Einleitung der Narkose wird die Indikation für eine invasive Blutdruckmessmethode großzügiger gestellt als bei Patienten ohne obstruktive Ventilationsstörung, da Obstruktionen bekanntermaßen zu lebensbedrohlichen Blutdruckabfällen führen können. Auch die Auswahl des Anästhetikums und die Form der Analgesie richtet sich stark nach einer Obstruktionsdiagnose. Eine Epiduralanästhesie zeigt hierbei eine verbesserte postoperative pulmonale Funktion im Gegensatz zu einem rein volatilen Anästhesieverfahren (Groeben 2006). Zudem ist darauf zu achten, keine atemwegsreizenden Inhalationsanästhetika wie z.B. Desfluran zu verwenden (Ungern-Sternberg et al. 2008; Satoh et al. 2009). Während der Operation stellt die adäquate maschinelle Beatmung die größte Herausforderung für die Anästhesie dar. Es muss auf eine ausreichende Expiration geachtet und der Verhalt von Atemluft in den Alveolen, sogenanntes „Air trapping“, vermieden werden. Schädliche Effekte die einen Luftverhalt hervorrufen können sind u.a. Hypotension, Barotrauma der Lunge, Hyperkapnie und Azidose (Edrich und Sadovnikoff 2010).

1.5 Postoperative pulmonale Komplikationen

Im Jahre 2017 stellte ein internationales Expertengremium zusammen mit Patientenvertretern einen Arbeitsplan auf, in welchem die zehn drängendsten bisher nicht ausschöpfend erforschten Themen der perioperativen Intensivmedizin gelistet werden. Das Erkennen und die Prävention von postoperativen pulmonalen Komplikationen (PPC) wird dort als eine von zehn aktuellen Forschungsprioritäten gelistet (Gillies et al. 2017). In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl von Studien durchgeführt mit der Zielsetzung Faktoren, die PPC begünstigen, zu identifizieren (Canet et al. 2010; Canet et al. 2015; Scholes et al. 2009; Miskovic und Lumb 2017).

Sogleich zu Beginn ergibt sich die Schwierigkeit, dass PPC zum Teil unterschiedlich definiert werden, sodass die Europäische Gesellschaft für Intensivmedizin (ESICM) gemeinsam mit der Europäischen Gesellschaft für Anästhesiologie (ESA) im Jahr 2015 feste Definitionen für PPC etablierte. Diese European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) Definitionen bezeichnen folgende sieben Punkte als PPC: Infektion der Atemwege, respiratorische Insuffizienz, Pleuraerguss, Atelektase, Pneumothorax, Bronchospasmus und Aspirationspneumonie (Jammer et al. 2015). Mehrere Studien nennen das höhere Alter als möglichen Risikofaktor für PPC, geben jedoch unterschiedliche Schwellenwerte für die Altersgrenze an, ab welcher PPCs vermehrt auftreten (Canet et al. 2010; Huh et al. 2013). Eine prospektive, multizentrische Studie aus Australien identifizierte fünf Risikofaktoren, die zur Entwicklung von PPCs beitragen. Zu diesen Risikofaktoren zählt das Vorliegen einer respiratorischen Komorbidität und ein aktueller Nikotinabusus des Patienten (Scholes et al. 2009). Eine europaweite Studie suchte nach Risikofaktoren, die das Auftreten einer postoperativen Ateminsuffizienz vorhersagen können und ermittelte sieben unabhängige Faktoren darunter das Auftreten mindestens eines präoperativen respiratorischen Symptoms (Canet et al. 2015).

Die Rolle einer präoperativen Lungenfunktionstestung zum Einschätzen des postoperativen pulmonalen Risikos bleibt allerdings unklar. Eine Studie an Gastrektomiepatienten designierte die präoperative Lungenfunktionstestung als ungeeignet, um PPC vorherzusagen (Huh et al. 2013). Jedoch erwies sich das Vorliegen einer COPD als einer der stärksten prädiktiven Faktoren für eine postoperative Reintubation (Brueckmann et al. 2013). Bei der Untersuchung bariatrischer Patienten zeigte sich ein pathologischer Lungenfunktionstest nur bei gleichzeitigem Vorliegen eines obstruktiven Schlafapnoesyndroms oder anderer respiratorischer Symptome als signifikanter Risikofaktor (Clavellina-Gaytán et al. 2015) für PPC.

1.6 Nikotinabusus

Laut Robert Koch-Institut rauchen Deutschlandweit ca. 20,8% der Frauen und 27% aller Männer. Der in den Zigaretten enthaltene Tabak beinhaltet eine Vielzahl an kanzerogenen und

gesundheitsschädlichen Inhaltsstoffen und bedingt dadurch das vermehrte Auftreten von Herz-Kreislauf-erkrankungen, Atemwegserkrankungen und bösartigen Neubildungen. Diese Krankheiten können einen chronischen Verlauf nehmen und sowohl das Individuum als auch die Gesellschaft über viele Jahrzehnte belasten. Im Jahr 2013 wurden 121.000 Todesfälle in Deutschland mit Rauchen in Verbindung gebracht. Dies entspricht 13,5% aller Todesfälle dieses Jahres in der Bundesrepublik (RKI 2017a; Schulze und Lampert 2006). Die häufigsten Atemwegserkrankungen, die durch Rauchen begünstigt bzw. verursacht werden, sind die COPD, chronische Bronchitis, das Lungenemphysem und Lungenkrebs. Dabei steigt das Risiko für die Entwicklung einer tabakassoziierten Erkrankung mit zunehmender Tabakexposition. Diese Exposition kann mithilfe sog. Packungsjahre quantifiziert werden. Dafür multipliziert man die gerauchten Zigarettenpackungen pro Tag mit der Anzahl der Raucherjahre. Eine Metaanalyse mehrerer Studien zeigte, dass mit der Aufgabe des Rauchens das Krankheitsrisiko graduell wieder absinkt (Forey et al. 2011).

1.7 Übergewicht und Adipositas

Die Prävalenz von Übergewicht und Adipositas hat in den letzten Jahrzehnten weltweit zugenommen. Daten des Robert Koch-Instituts stufen 54% aller Erwachsenen in Deutschland als übergewichtig oder adipös ein. Dabei sind Männer häufiger von Adipositas betroffen als Frauen und die allgemeine Adipositasprävalenz steigt im Alter an (RKI 2017b). Die WHO klassifiziert die Adipositas als eigenständige Erkrankung und bietet Vorgaben, nach welchen der Grad des Übergewichts bzw. der Adipositas eingestuft werden können (s. Tab. 2). Die Klassifikation richtet sich nach dem Body-Mass-Index (BMI). Der BMI berechnet sich aus dem Quotienten von Körpergewicht in Kilogramm und Körpergröße in Metern zum Quadrat. Dabei gelten die nachfolgend in der Tabelle dargestellten Einstufungen (World Health Organization 2000).

Tab. 2 Klassifikation des Body-Mass-Index gemäß Weltgesundheitsorganisation

BMI (kg/m ²)	Klassifikation nach WHO
<18,5	Untergewicht
18,5-24,9	Normalgewicht
25-29,9	Übergewicht
≥30	Adipositas

Adipositas ist mit einer Vielzahl chronischer Erkrankungen darunter Diabetes Mellitus Typ 2, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebserkrankungen assoziiert (Abdullah et al. 2010; Guh et al. 2009). In der perioperativen Planung gibt es Besonderheiten beim Umgang mit adipösen Patienten zu beachten. Präoperativ sollte mithilfe geeigneter Scores das individuelle Risiko erhoben und sich

bei der Einleitung auf eine schwierige Intubation vorbereitet werden. Intraoperativ gilt es möglichst schonende Beatmungseinstellungen zu wählen und postoperativ ist eine korrekte Lagerung, die frühe Mobilisation und Physiotherapie von entscheidender Bedeutung. Generell haben adipöse Patienten ein erhöhtes Risiko für perioperative Komplikationen, von denen die meisten pulmonaler Genese sind (Bazurro et al. 2018). Zudem zeigt sich Adipositas als eigenständiger Risikofaktor für pulmonale unerwünschte Ereignisse und verlängert die Verweildauer der Patienten im Aufwachraum (Mendonça et al. 2014b).

1.8 Fragestellung und Ziel

Ziel dieser Studie ist die spirometrische Erfassung bisher unbekannter pulmonaler Erkrankungen bei präoperativen Risikopatienten. Als Risikopatienten werden solche mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten oder mit einem Alter von mindestens 75 Jahren gewertet. Unsere Forschungsfrage beschäftigt sich damit, bei wie vielen der untersuchten Patienten wir zuvor unbekannte pathologische Lungenfunktionswerte nachweisen können, welchen Schweregrad diese Funktionseinschränkungen aufweisen und mit welchen Patientencharakteristika diese pathologischen Werte in Verbindung stehen.

2 Methoden

2.1 Studiendesign und Ablauf

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine klinische, prospektive Beobachtungsstudie an einer ausgewählten Kohorte. Die Kohorte besteht aus präoperativen Risikopatienten, welche an Lungenfunktionstests teilgenommen haben. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bewilligt (D 580/20) und unter der Nummer DRKS00029337 im Deutschen Register Klinischer Studien registriert. Die Patientenrekrutierung erfolgte von September bis November 2020 in der Anästhesieambulanz des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein (UKSH), Campus Kiel. Das UKSH ist ein Haus der Maximalversorgung und bietet elektive Operationen aller Fachrichtungen an. Die präoperativen Vorbereitungsgespräche für Erwachsene finden unabhängig von der Fachrichtung in der Anästhesieambulanz statt. Die Studie erhielt keine externe Finanzierung und wurde aus Mitteln der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin des UKSH, Campus Kiel finanziert. Um die Qualität und externe Validität dieser Forschungsarbeit zu verbessern, richtet sich deren Inhalt nach dem „Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology“ (STROBE) Statement (Elm et al. 2007). Dieses präsentiert zweiundzwanzig Themengebiete, welche in jeder medizinischen Beobachtungsstudie behandelt werden sollten, um eine gute Transparenz und Nachvollziehbarkeit für den Leser zu gewährleisten.

Die formalen Einschlusskriterien für die Studie waren:

- Prämedikation in der Anästhesieambulanz am UKSH Kiel im Zeitraum vom September bis November
- Metabolische Äquivalente <4 oder Patientenalter ≥ 75 Jahre

Ausschlusskriterien waren:

- Eine weniger als drei Monate zurückliegende durchgeführte Lungenfunktionstestung
- Minderjährigkeit
- Fehlende Einwilligungsfähigkeit oder fehlendes Einverständnis
- Keine Möglichkeit zur Versuchsdurchführung

Allen Patienten wurde unabhängig vom geplanten operativen Eingriff bei Erfüllen der Einschlusskriterien eine Lungenfunktionstestung in der Anästhesieambulanz angeboten. Um die Einschlusskriterien zu erfüllen, musste ein Patient entweder mindestens 75 Jahre alt sein oder weniger als vier metabolische Äquivalente aufweisen. Das Einverständnis zur Lungenfunktionstestung wurde mündlich eingeholt. Bei jedem Patienten wurden die folgenden Daten ermittelt: Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, Raucherstatus, Lungenerkrankungen, ASA-Klasse, metabolische Äquivalente und die Lungenfunktionsparameter. Alter und Geschlecht wurden aus der Patientenakte übernommen. Das Gewicht und die Größe wurden vom Patienten erfragt. Der BMI wurde nach WHO Formel berechnet. Bei der Frage nach dem Raucherstatus wurde zwischen Nichtraucher, ehemalige Raucher und aktive Raucher unterschieden. Bei Rauchern wurden die Packungsjahre ermittelt, indem wir die Patienten nach der Anzahl an täglich gerauchten Zigaretten befragten. Die metabolischen Äquivalente wurden durch den prämedizierenden Anästhesisten bestimmt. Anhand der Frage, ob es einem Patienten möglich sei, ohne Unterbrechung in den zweiten Stock Treppen zu steigen, wurde zwischen weniger oder mehr als vier metabolischen Äquivalenten unterschieden. Auch die ASA-Klasse wurde vom Anästhesisten mittels Anamnese, körperlicher Untersuchung und der vorliegenden Patientenakte eingeschätzt. Wir fragten die Patienten, ob bei ihnen eine Lungenerkrankung bekannt sei, nannten Asthma und COPD als Beispiele und fragten, ob sie Sprays für die Lunge einnehmen würden. Zusätzlich wurde in den vorliegenden Patientenakten nach Lungenerkrankungen gesucht. Wurden alle Fragen mit „nein“ beantwortet und keine bestätigte Lungenerkrankung in den Patientenakten gefunden, wurde eine Lungenerkrankung als „nicht bekannt“ notiert. Beantwortete der Patient eine der Fragen mit „ja“ oder wurde eine Lungenerkrankung in den Patientenakten identifiziert, wurde „Lungenerkrankung bekannt“ festgehalten. War sich der Patient bei einer der Fragen unsicher oder vermutete, er könne eine Lungenerkrankung haben, wurde ebenfalls „Lungenerkrankung bekannt“ notiert. Die Lungenfunktionsparameter selbst wurden mit einem Spirometer mit Ultraschalltechnik ermittelt. Alle Daten wurden in Form einer

Excel-Tabelle auf gesicherten Laufwerken des UKSH gespeichert. Jedem Patienten wurde direkt bei Studieneinschluss eine fortlaufende Nummer zugewiesen, sodass Speicherung, Verarbeitung und Auswertung der Daten in anonymer Form erfolgten.

2.2 Medizinisches Material

Für die Untersuchungen wurde das EasyOne Pro® Spirometer von ndd Medizintechnik AG (Zürich, Schweiz) verwendet. Während des Studienzeitraums wurden drei unterschiedliche Filter verwendet: „NDD inline Filter“ der ndd Medizintechnik AG (Zürich, Schweiz), „Pulmosafe Filter“ von Lemon Medical GmbH (Hammelburg, Deutschland) und „1691000Pulmo-Protect™“ Filter der Intersurgical GmbH (Sankt Augustin, Deutschland). Dieser Filterwechsel war erforderlich, da es pandemiebedingt Lieferengpässe bei der Beschaffung der Ersatzteile gab. Es wird jedoch nicht davon ausgegangen, dass der Filterwechsel die Qualität und Reproduzierbarkeit der Untersuchungen beeinflusst hat. Des Weiteren wurden die „Spirette FA Pro“ und der Adapter der Firma ndd verwendet. Für den D_{LCO} -Versuch kamen zusätzlich „ D_{LCO} Barietten“ der Firma ndd und ein Testgas bestehend aus 9,34% Helium, 0,269% Kohlenmonoxid, 19,11% Sauerstoff und 71,281% Stickstoff zum Einsatz.

2.3 Versuchsdurchführung

Vor jedem der Versuche wurde der Patient ausführlich über Versuchsablauf und Durchführung aufgeklärt. Alle Tests wurden beim sitzenden, spontan atmenden Patienten mit aufgesetzter Nasenklemme durchgeführt. Sofern dies möglich war, erhielten alle Patienten sowohl einen forcierten Expirationsversuch als auch eine Testung der Diffusionskapazität für Kohlenstoffmonoxid. Nach erfolgter Durchführung beider Lungenfunktionsversuche, wurden die Untersuchungsdaten ausgedruckt und für den Patienten selbst und für jeden behandelnden Arzt einsehbar, in die analoge Patientenakte gelegt. Die Versuchsergebnisse wurden dem Patienten in einer für den Laien verständlichen Art und Weise erklärt. Bei unerwarteten, d.h. vom Patienten und Arzt zuvor unbekannten mittel- bis schwergradigen obstruktiven Ventilationsstörungen oder Einschränkung der D_{LCO} wurden die jeweils relevanten Parameter auf dem Narkoseprotokoll vermerkt.

2.3.1 Forcierte Expiration

Die Versuchsdurchführung der forcierten Expiration richtete sich nach der S2k-Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga zur Spirometrie (Criée et al. 2015). Dem Patienten wurde eine Nasenklammer aufgesetzt und er wurde aufgefordert durch den offenen Mund tief Luft zu holen, sodass dieser seine TLC erreichte. Anschließend folgte die Anweisung, das Mundstück in den noch offenen Mund zu nehmen, fest mit den Lippen zu umschließen und so schnell und so kräftig wie möglich alle Luft auszuatmen. Dieser Versuch wurde mindestens zweimal durchgeführt,

zwischen jedem Versuch wurde die Nasenklemme abgenommen und dem Patienten Zeit gegeben sich vom vorherigen Versuch zu erholen. Im Expirationsversuch wurden folgende Parameter ermittelt: FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, FEF_{25-75%}, PEF und Zeit der forcierten Expiration (FET). Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt eine exemplarische Flussvolumenkurve dieser Versuchsdurchführung bei einem unserer Patienten.

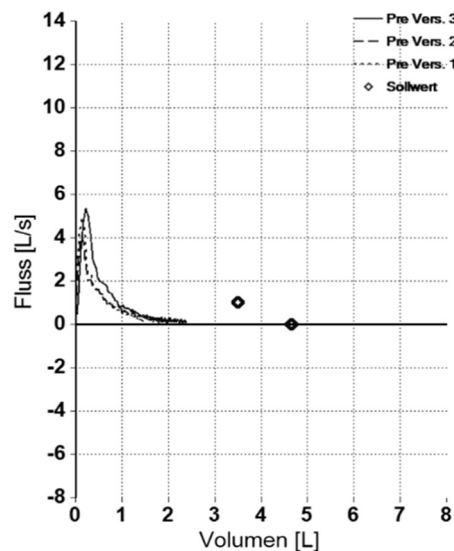


Abb. 6 Flussvolumenkurve eines Studienteilnehmers

2.3.2 Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Die Untersuchung der D_{LCO} wurde gemäß den Richtlinien der European Respiratory Society und American Thoracic Society nach der Einatemzugmethode durchgeführt (Graham et al. 2017). Dem Patienten wurde eine Nasenklemme aufgesetzt und er wurde gebeten einige ruhige Atemzüge mit der mit den Lippen umschlossenen Spirette durchzuführen. Nachdem die Ruheatmung auf diese Weise registriert wurde, wurde der Patient gebeten nach einer normalen Einatmung so lange auszuatmen, bis keine weitere Ausatmung mehr möglich ist. Auf diese Weise wurde das Residualvolumen erreicht. Vom RV aus wurde der Patient aufgefordert maximal tief Luft zu holen, sodass die TLC erreicht wurde. Zu Beginn der Einatmung wurde dem Patienten automatisch ein Gasfilter vorgeschaltet, sodass dieser nicht mit Raumluft sondern mit dem Testgas einatmete. Am Punkt der maximalen Einatmung hielt der Patient für acht bis zwölf Sekunden die Luft an und atmete anschließend zügig wieder aus. Dieser Versuch wurde bei ausreichend guter Qualität nur einmal durchgeführt. Bei mehrmaliger Durchführung wurde zwischen zwei Tests eine Latenz von einigen Minuten eingehalten, um die Auswaschung des Testgases aus der Patientenlunge zu gewährleisten. Beim D_{LCO} -Versuch wurden folgende Parameter ermittelt: D_{LCO} , V_A , TLC, inspiratorisches Volumen des Testgases (V_I), Zeit des

Luftanhaltens (BHT), V_T und RV. Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt exemplarische eine Messung der Diffusionskapazität bei einem unserer Patienten.

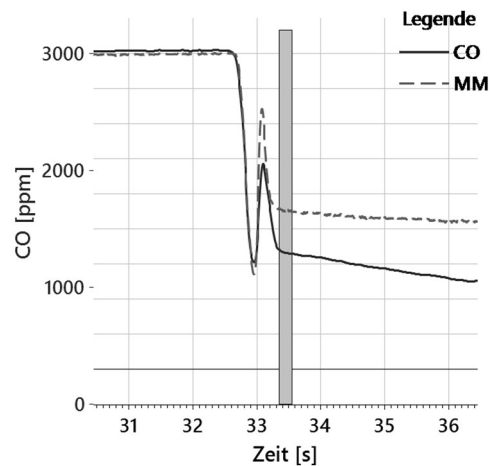


Abb. 7 Diffusionskapazitätsmessung eines Studienteilnehmers

CO=Kohlenstoffmonoxid, ppm=parts per million, MM=Molare Masse. Dargestellt sind die Gaskonzentrationen während einer Diffusionskapazitätsmessung. Grau hinterlegt ist die alveoläre Sammelprobe.

2.4 Qualitätsgrade und Schweregradeinteilung

Jeder Versuch wurde durch das Spirometer mithilfe von Qualitätsgraden bewertet. Die verwendeten Kriterien für das Testende, die Testqualität und die Qualitätsgrade beruhen auf in der Fachliteratur veröffentlichten Standards (Standardization of Spirometry, 1994 Update. American Thoracic Society 1995; Ferguson et al. 2000; Miller et al. 2005). Die Bedeutungen der einzelnen Qualitätsgrade sind in Tab. 3 und Tab. 4 aufgelistet.

Tab. 3 Qualitätsgrade für den forcierten Expirationsversuch

Grad	Kriterien
A	Mindestens 3 akzeptable Versuche und die Differenz der besten zwei FEV ₁ - und FVC-Werte ist kleiner oder gleich 100 ml (80 ml für FVC < 1,0 l)
B	Mindestens 3 akzeptable Versuche und die Differenz der besten zwei FEV ₁ - und FVC-Werte ist kleiner oder gleich 150 ml (100 ml für FVC < 1,0 l)

C	Mindestens 2 akzeptable Versuche und die Differenz der besten zwei FEV ₁ - und FVC-Werte ist kleiner oder gleich 200 ml (150 ml für FVC < 1,0 l)
D1	Mindestens 2 akzeptable Versuche, aber Ergebnisse nach „C“ nicht reproduzierbar
D2	Nur 1 akzeptabler Versuch
F	Kein akzeptabler Versuch

FVC=Forcierte Vitalkapazität, FEV₁=Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde

Tab. 4 Qualitätsgrade für die Testung der Diffusionskapazität

Grad	Kriterien
A	2 akzeptable Versuche mit einer D _{LCO} -Variabilität von ≤ 1 ml/min/mmHg der 2 nächstgelegenen
B	2 akzeptable Versuche mit einer D _{LCO} -Variabilität von ≤ 2 ml/min/mmHg der 2 nächstgelegenen
C	2 akzeptable Versuche mit einer D _{LCO} -Variabilität von ≤ 3 ml/min/mmHg der 2 nächstgelegenen
D	1 akzeptabler Versuch mit einer D _{LCO} -Variabilität von > 3 ml/min/mmHg der 2 nächstgelegenen
F	Kein akzeptabler Versuch

D_{LCO} =Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Es wurden nur Versuche der Qualitätsgrade „A“ bis „D“ für die Auswertung verwendet. Alle Versuche des Qualitätsgrades „F“ wurden als „nicht auswertbar“ notiert und gingen nicht in die Studienergebnisse mit ein. Bei der Messung der D_{LCO} wurde ein Versuch nur dann ausgewertet, sofern VI mindestens 90% der FVC betrug (Graham et al. 2017). Dementsprechend wurde bei Probanden mit „nicht auswertbarem“ FVC-Versuch auch der D_{LCO}-Versuch nicht ausgewertet, da der Vergleich von FVC aus ersterem und eingeatmetem Testgasvolumen aus letzterem Versuch nicht möglich war (s. Abb. 10).

Für die Beurteilung der Lungenparameter wurden die Normwerte der Global Lung Function Initiative (Quanjer et al. 2012; Stanojevic et al. 2017) gewählt. Dabei gilt ein Parameter als pathologisch, sobald dieser mindestens 1,645 Standardabweichungen unterhalb der errechneten

Norm liegt. Die Abweichungen von der Norm ausgedrückt in Standardabweichungen werden als Z-Score bezeichnet und können somit negative und positive Werte annehmen. Ausschlaggebend für die Studie waren die negativen Werte mit Z-Scores $< -1,645$, welche auch als unterer Grenzwert (LLN) bezeichnet werden. Lag der Messparameter FEV_1/FVC unterhalb des LLN wurde eine obstruktive Ventilationsstörung diagnostiziert und leitliniengemäß anhand der FEV_1 in eine leichte, mittlere oder schwere Obstruktion eingeteilt (s. Tab. 5) (Criée et al. 2015).

Tab. 5 Schweregradeinteilung obstruktiver Ventilationsstörungen

Obstruktion	wenn $FEV_1/FVC < LLN$
Obstruktionsgrad	Kriterium
Leicht	$FEV_1 > 60\%$ vom Soll
Mittel	FEV_1 40-60% vom Soll
Schwer	$FEV_1 < 40\%$ vom Soll

FEV_1 =Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde,
FVC=Forcierte Vitalkapazität, LLN=Unterer Grenzwert

Dieselben Z-Scores wurden für den D_{LCO} -Versuch angewandt und bei einem Z-Score $< -1,645$ wurden die Einschränkungen der D_{LCO} gemäß der American Thoracic Society (ATS) und European Respiratory Society (ERS) Task Force in drei Schweregrade eingeteilt (s. Tab. 6) (Pellegrino et al. 2005).

Tab. 6 Schweregradeinteilung bei eingeschränkter Diffusionskapazität

Schweregrad	D_{LCO} % vom Soll
Leicht	$>60\%$ und $<LLN$
Mittel	40-60%
Schwer	$<40\%$

D_{LCO} =Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid, LLN=Unterer Grenzwert

Es wurde keine nachträgliche Anpassung eines erhöhten kapillären CO-Partialdrucks und keine nachträgliche Hämoglobinanpassung für die D_{LCO} Werte vorgenommen.

2.5 Statistik

Zur statistischen Auswertung wurde das Programm „IBM SPSS Statistics® 28“ verwendet. Ein Wert wurde als statistisch signifikant eingestuft, wenn sein p-Wert $< 0,05$ war. Für alle Berechnungen wurden der FVC- und FEV_1 Z-Score stellvertretend für die expiratorische

Lungenleistung betrachtet und der D_{LCO} -Z-Score für die Diffusionsleistung der Lunge. Zu den jeweiligen Z-Scores wurden Histogramme angefertigt, um die Normalverteilung zu veranschaulichen. Unter der Voraussetzung der Normalverteilung der Z-Scores ließen sich Ein- und Zweistichproben t-Tests und lineare Regressionen durchführen. Die Mittelwerte der Z-Scores wurden mit einem Einstichproben t-Test verglichen. Des Weiteren wurden die Z-Score Mittelwerte mittels eines Zweistichproben t-Tests in Bezug auf mehr oder weniger als vier metabolische Äquivalente untersucht. Da die ASA Klassen I und IV nur jeweils sechs bzw. acht Patienten umfassen, ließ sich hier keine sicher interpretierbare einfaktorielle Varianzanalyse durchführen. Stattdessen wurden die ASA Klassen I und II zur Gruppe 1 und die ASA Klassen III und IV zur Gruppe 2 zusammengefasst. Mit diesen beiden Gruppen wurde anschließend ein Zweistichproben-t-Test durchgeführt. Der BMI wurde mittels linearer Regression auf Zusammenhänge mit den Z-Scores geprüft. Zur graphischen Veranschaulichung wurden Streudiagramme mit Regressionsgeraden zu den jeweiligen Lungenparametern in Bezug auf den BMI erstellt. Dabei wurden Ausreißerwerte mit einem $BMI < 18,5$ und $BMI > 45$ nicht mit einbezogen. Der Einfluss des Raucherstatus auf die Lungenfunktion wurde mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Abschließend wurde eine multiple lineare Regression mit Rückwärtselimination für die einzelnen Lungenparameter durchgeführt. Dabei enthielt das jeweils erste Modell die metabolischen Äquivalente, die ASA-Klasse, bekannte Lungenerkrankung, BMI und Packungsjahre als Kontrollvariablen und den jeweiligen Z-Score der Lungenparameter als abhängige Variable. Die Patientengröße, das Geschlecht und Alter wurden nicht als Kontrollvariablen mit aufgenommen, da die Z-Scores bereits für diese Variablen adjustiert worden sind. Bei der Rückwärtsselektion wurde eine Variable bei $p \leq 0,05$ eingeschlossen und bei $p \geq 0,1$ ausgeschlossen.

3 Ergebnisse

3.1 Studieneinschluss

Insgesamt wurden 2.477 Narkosevorbereitungen in der Anästhesieambulanz des UKSH Kiel durchgeführt. Von diesen 2.477 Patienten erfüllten 547 Patienten die Studieneinschlusskriterien. 1.930 Patienten erfüllten die Studienkriterien nicht. Bei 256 der infrage kommenden Studienkandidaten wurde eine Lungenfunktionstestung durchgeführt, bei 291 Patienten nicht. Gründe, aus welchen bei Erfüllung der Studienkriterien keine Lungenfunktionstestung durchgeführt wurde, finden sich in Abb. 9.

Von allen 256 Patienten, die an einer Lungenfunktionstestung teilgenommen haben, absolvierten 42 Patienten einen FVC-Versuch und 214 Patienten führten sowohl einen FVC- als auch einen D_{LCO} -Versuch durch. Bei den 42 Patienten, die nur einen FVC-Versuch erhielten, konnte aufgrund

von Lieferengpässen bei der Beschaffung der D_{LCO} -Filter kein D_{LCO} -Versuch durchgeführt werden (s. Abb. 8).

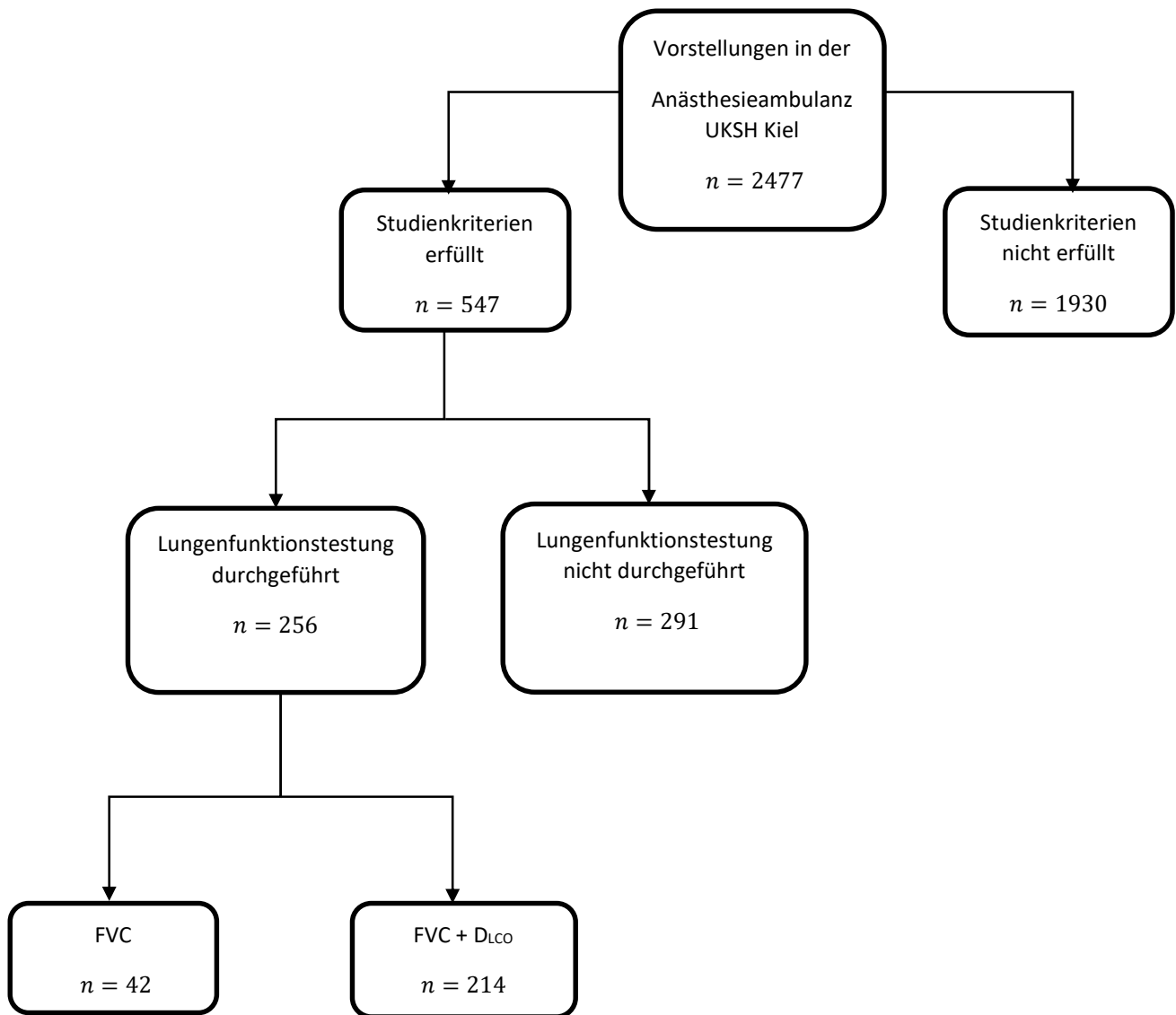


Abb. 8 Flussdiagramm zum Studieneinschluss und zu durchgeführten Lungenfunktionstests.

UKSH=Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, n =Patientenanzahl, FVC=forcierter Expirationsversuch, D_{LCO} =Testung der Diffusionskapazität

Bei Erfüllen der formalen Einschlusskriterien ($\text{Alter} \geq 75$ Jahre oder $\text{MET} < 4$) wurde einem Patienten eine Lungenfunktionstestung angeboten. Dies traf bei 547 Patienten zu ($n = 547$). Ist in den letzten drei Monaten bereits eine Lungenfunktionstestung bei dem Patienten durchgeführt worden, wurde keine erneute Untersuchung vorgenommen ($n = 25$). Weitere äußere Umstände aufgrund welcher keine Lungenfunktionstestung trotz Erfüllung der formalen Kriterien ausgeführt

wurde, waren: kurzfristig abgesagte Operation ($n = 27$), Wiedervorstellung desselben Patienten innerhalb des Studienzeitraums ($n = 23$), außerhalb der Anästhesieambulanz stattfindende Prämedikation ($n = 13$), erhöhtes Arbeitsaufkommen in der Ambulanz ($n = 86$) und fehlende Ersatzteile für das Spirometer ($n = 30$). Im weiteren Verlauf wurde geprüft, ob der Patient volljährig und einwilligungsfähig war. Dies war bei drei Patienten ($n = 3$) nicht der Fall. Als letzter Schritt wurde ermittelt, ob der Patient zur Versuchsdurchführung fähig war. Gründe für eine Unfähigkeit des Patienten zur Versuchsdurchführungen waren: geistige Erkrankungen z.B. Demenz ($n = 8$), ausgeprägte Hörminderung oder Taubheit ($n = 3$), die es nicht zuließen, den detaillierten Atemanweisungen zu folgen, Sprachbarrieren bei Unkenntnis der deutschen Sprache ($n = 3$), Facialisparesen ($n = 2$), die es unmöglich machten das Mundstück des Spirometers mit den Lippen zu umschließen, eine ausgeprägte Kehlkopfobstruktion ($n = 1$), ein permanenter hoher O_2 -Bedarf ($n = 2$) oder das Vorliegen eines Tracheostomas ($n = 3$). Insgesamt wurden aufgrund nicht möglicher Versuchsdurchführung 22 Patienten ausgeschlossen. Das Einverständnis zur Lungenfunktionstestung wurde mündlich eingeholt. 62 Patienten lehnten die Untersuchung ab. 256 Patienten konnten in die Studie eingeschlossen werden.

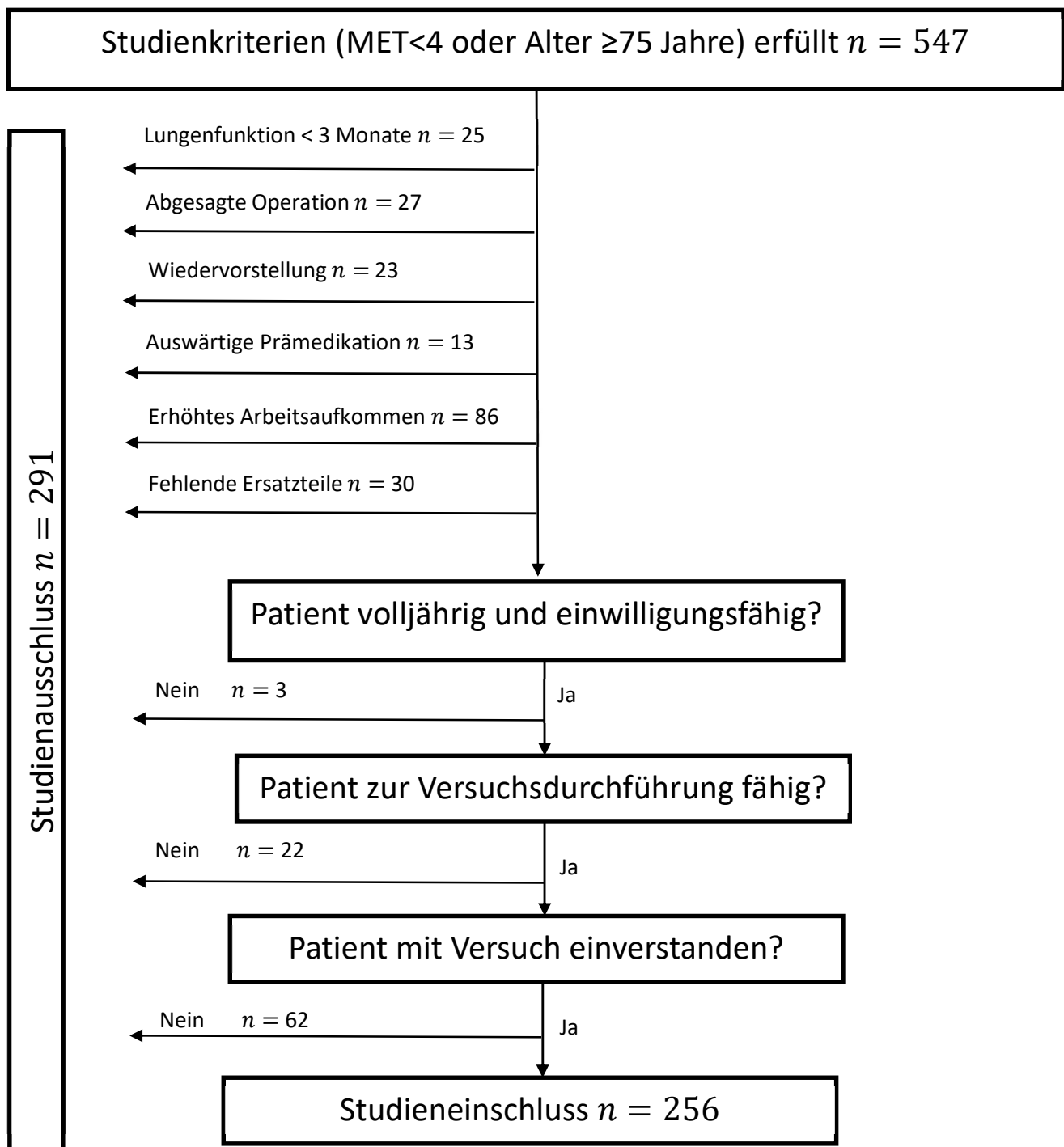


Abb. 9 Flussdiagramm zu Studieneinschluss und -ausschluss unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien.

MET=Metabolische Äquivalente, n =Patientenanzahl

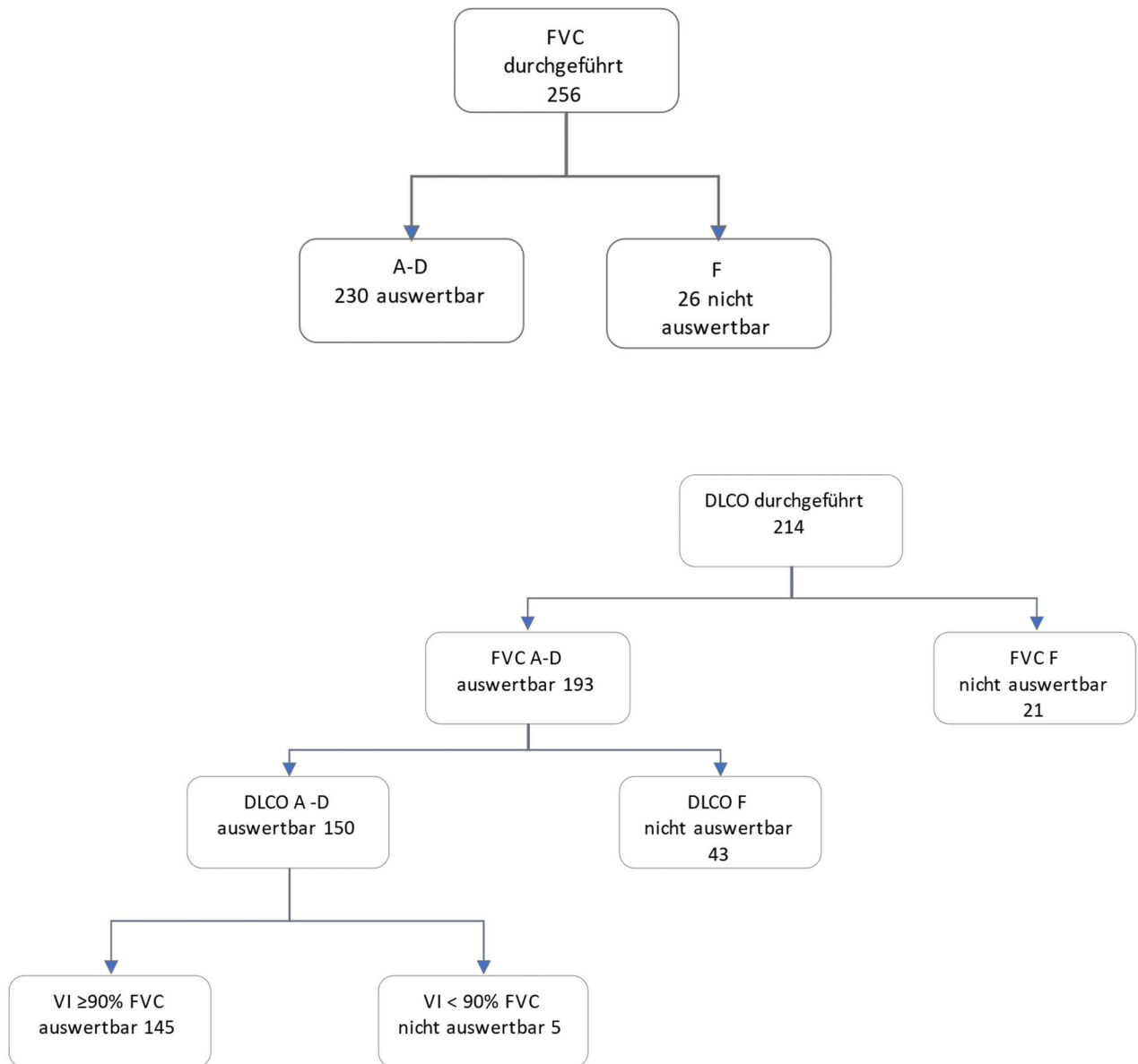


Abb. 10 Flussdiagramm zur Auswertung der Lungenfunktionstests anhand ihrer Qualitätsgrade.

FVC=forcierter Expirationsversuch, A-D=Qualitätsgrade, F=Qualitätsgrad, D_{LCO} =Diffusionskapazitätstestung, V_I =Inspirationsvolumen des Testgases, FVC=forcierte Vitalkapazität

Gemäß der Qualitätsgrade konnten 230 von 256 durchgeführten forcierten Expirationsmanövern ausgewertet werden (s. Abb. 10). Von 214 durchgeführten D_{LCO} -Versuchen gingen 145 in die Auswertung mit ein. Bei 21 Patienten war das zuvor durchgeführte Expirationsmanöver von unzureichender Qualität, um eine Vergleichbarkeit von V_I und FVC zu gewährleisten. 43 D_{LCO} -Versuche wiesen selbst einen ungenügenden Qualitätsgrad auf und 5 D_{LCO} -Versuche wurden aufgrund zu großer Unterschiede zwischen V_I und FVC nicht gewertet (s. Abb. 10).

3.2 Patientenkollektiv

Das dieser Studie zugrunde liegende Patientenkollektiv bestand aus präoperativen Patienten aller Fachrichtungen, die zu einem elektiven Aufklärungsgespräch in der Anästhesieambulanz waren. Die Studienpopulation umfasst ausschließlich Menschen kaukasischer Herkunft. Von insgesamt 230 auswertbaren Patienten waren 107 weiblich und 123 männlich. Die Altersspanne reichte vom 24. bis zum 90. Lebensjahr mit einem Mittelwert von 75 Jahren (SD±11). Im Mittel betrug die Körpergröße 170 cm (SD ±8), das Gewicht 78 kg (SD±19) und der BMI 27 kg/m² (SD±6). 101 der Patienten hatten weniger als vier metabolische Äquivalente und 129 hatten mindestens vier metabolische Äquivalente. Bei der ASA-Klassifikation wurden 6 Patienten der Klasse I, 91 Patienten der Klasse II, 125 Patienten der Klasse III und 8 Patienten der Klasse IV zugeordnet. 88 der ausgewerteten Patienten waren normalgewichtig, 6 untergewichtig, 86 waren präadipös und 50 waren adipös. Es wurden 44 aktive Raucher, 99 ehemalige Raucher und 87 Nichtraucher untersucht. Bei 28 Patienten war eine Lungenerkrankung bereits bekannt, bei 202 Patienten war bisher keine Lungenerkrankung bekannt.

Tab. 7 Demografische und klinische Daten

Demografische und klinische Daten	Anzahl n oder Mittelwert ± SD	Minimum	Maximum
Patienten	230		
Weiblich	107 (46,5%)		
Alter in Jahren	75±11	24	90
Größe in cm	170±8	150	193
Gewicht in kg	78±19	35	170
BMI in kg/m ²	27±6	13	61
Normalgewicht	88 (38,3%)		
Untergewicht	6 (2,6%)		
Präadipositas	86 (37,4%)		
Adipositas	50 (21,7%)		
MET<4	101 (43,9%)		
MET≥ 4	129 (56,1%)		
ASA-Klasse I	6 (2,6%)		
ASA-Klasse II	91 (39,6%)		
ASA-Klasse III	125 (54,3%)		
ASA-Klasse IV	8 (3,5%)		

ASA-Klasse V	0		
Packungsjahre	16±22	0	135
Nichtraucher	87 (37,8%)		
Ehemalige Raucher	99 (43%)		
Aktive Raucher	44 (19,1%)		
Lungenerkrankung bekannt	28 (12,2%)		

SD= Standardabweichung, MET=Metabolische Äquivalente, ASA= American Society of Anesthesiologists

3.3 Studienergebnisse

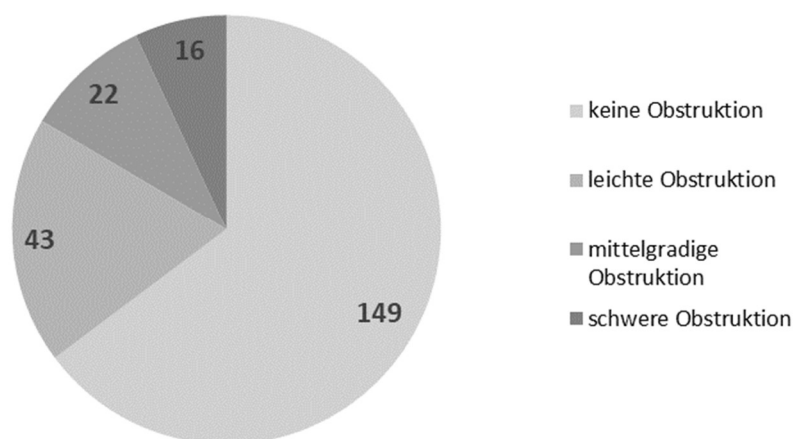


Abb. 11 Schweregrade der obstruktiven Ventilationsstörungen aller untersuchten Patienten

Von 230 untersuchten Patienten wiesen 81 eine obstruktive Ventilationsstörung auf (s. Abb. 11). Von den 81 Obstruktionen waren 65 bisher unbekannt (28%). Von diesen neu entdeckten obstruktiven Ventilationsstörungen waren 38 leicht-, 18 mittel- und 9 schwergradig (s. Abb. 12).

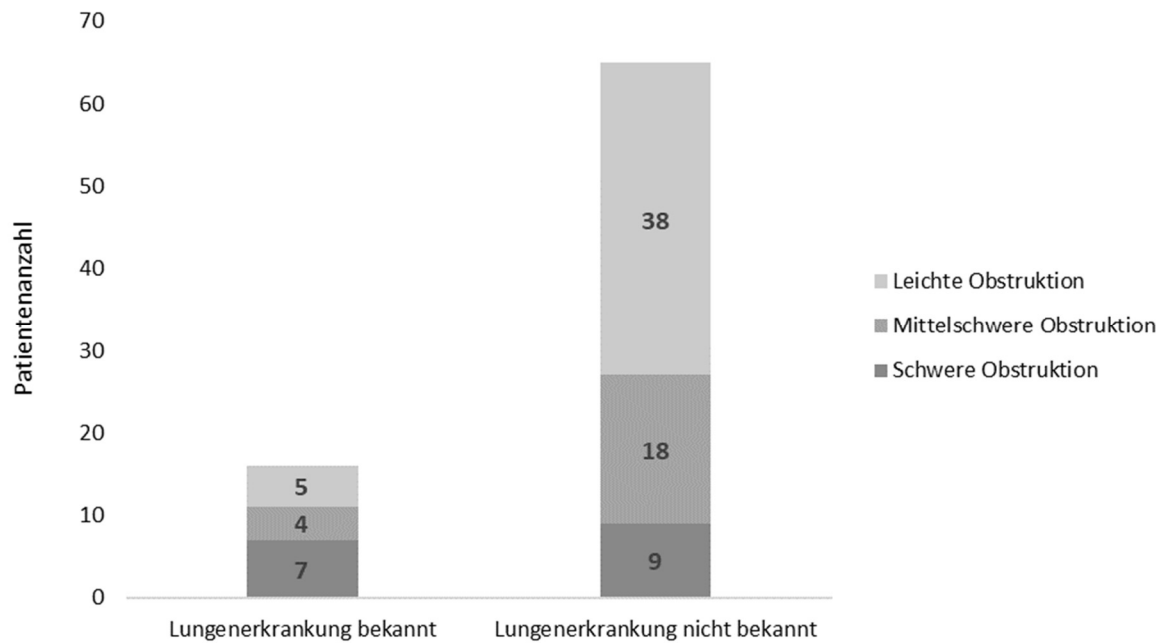


Abb. 12 Schweregrade der obstruktiven Ventilationsstörungen bei zuvor bekannter und unbekannter Lungenerkrankung

Bei 145 auswertbaren D_{LCO} -Versuchen zeigten sich 49 Einschränkungen der Diffusionskapazität (s. Abb. 13). Davon waren 40 (28%) zuvor unbekannt und teilten sich in 21 leicht-, 17 mittel- und 2 schwergrade Beeinträchtigungen der Diffusionskapazität (s. Abb. 14).

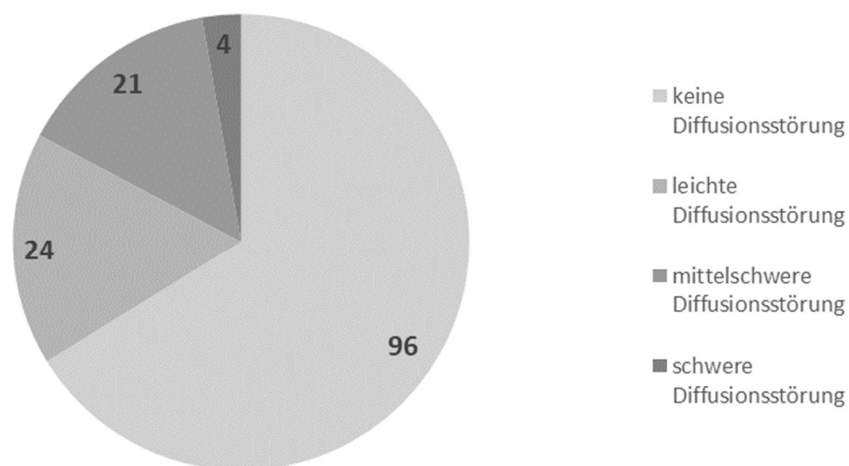


Abb. 13 Schweregrade der Diffusionseinschränkungen aller untersuchten Patienten

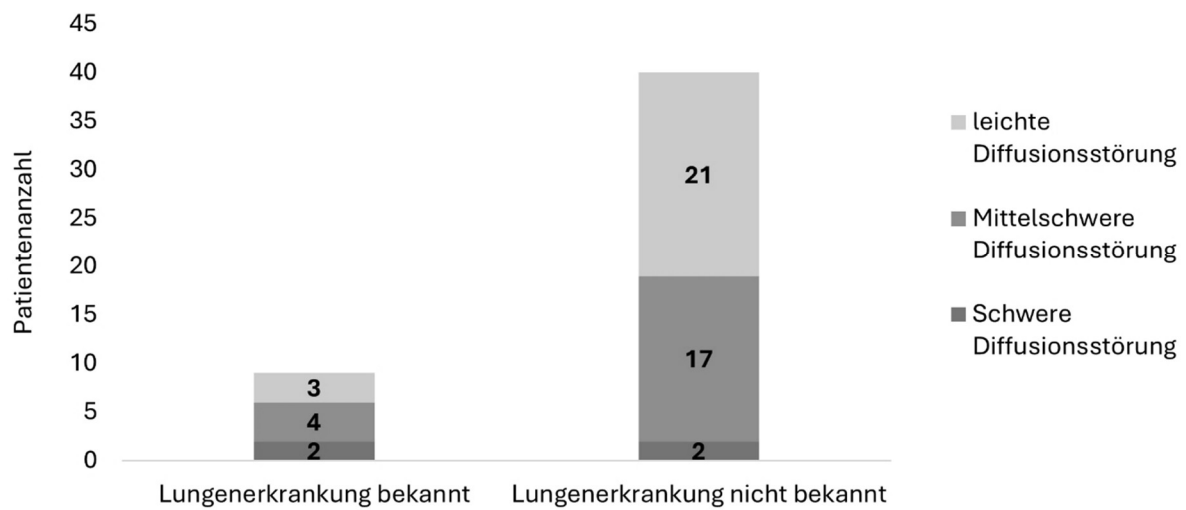


Abb. 14 Schweregrade der beeinträchtigten Diffusion bei zuvor bekannter und unbekannter Lungenerkrankung

Durch Umwandlung der absoluten Lungenparameter in Z-Scores wird eine symmetrische Normalverteilung erreicht. Die Daten weisen einige, wenige Ausreißer auf, welche sich gut mit einer Gaußschen Normalverteilung vereinbaren lassen (s. Abb. 15).

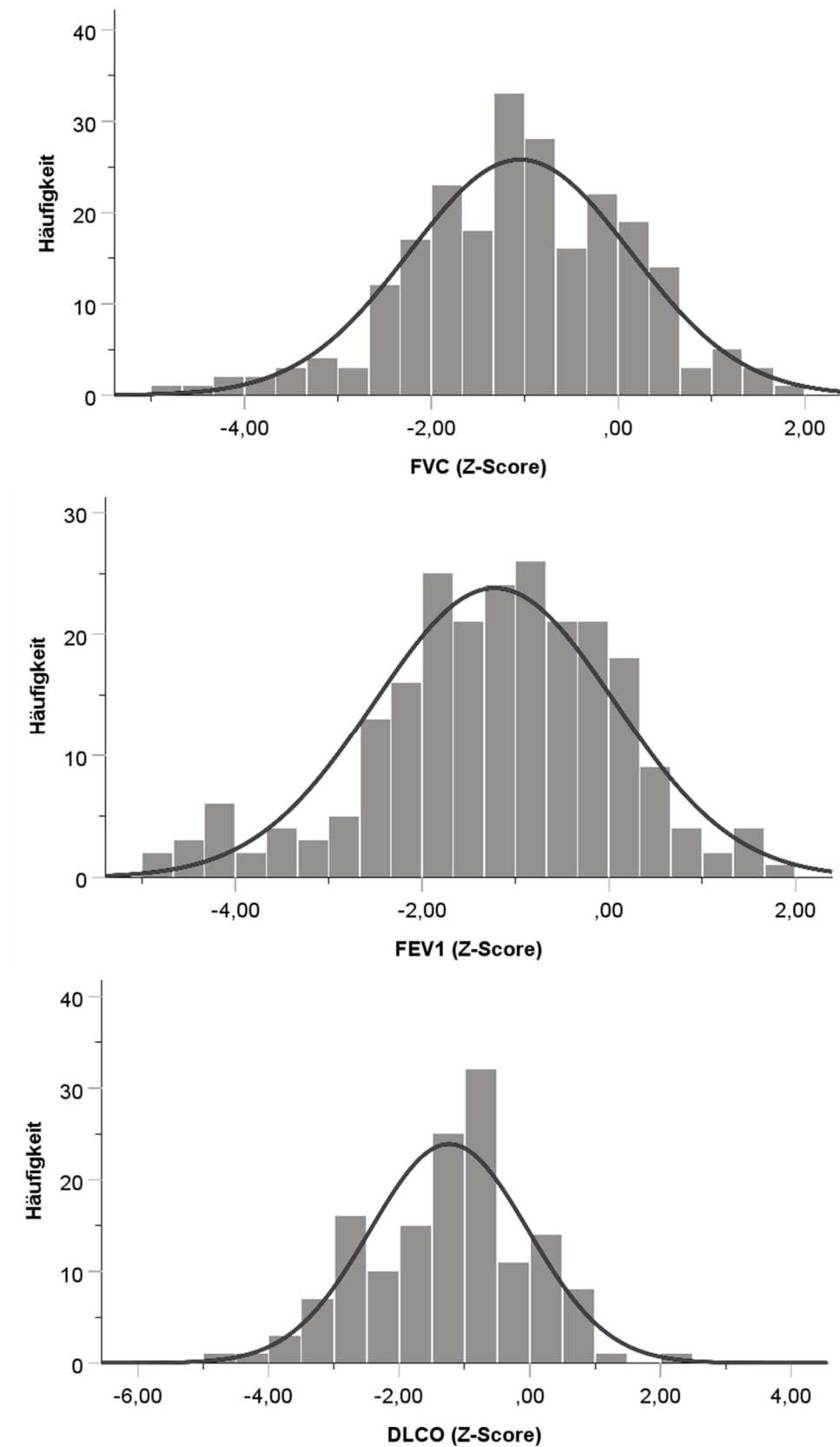


Abb. 15 Histogramme der Z-Scores der untersuchten Lungenparameter

FVC=Forcierte Vitalkapazität, FEV₁=Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde, D_{LCO}= Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Ein Einstichproben-t-Test der ausgewählten Z-Scores mit erwartetem Mittelwert gleich null, ergibt für den FVC Z-Score einen tatsächlichen Mittelwert von -1,05 (SD $\pm 1,19$) für den FEV₁ Z-Score einen Mittelwert von -1,22 (SD $\pm 1,29$) und für den D_{LCO} Z-Score einen Mittelwert von -1,24 (SD $\pm 1,21$). Damit weichen alle Z-Scores hochsignifikant ($p < 0,001$) vom erwarteten Mittelwert ab. Die Mittelwerte der Z-Scores mit Standardabweichung für FVC, FEV₁ und D_{LCO} der einzelnen untersuchten Gruppen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 8 Mittelwerte und Standardabweichungen der Z-Scores

Mittelwert \pm SD	FVC	FEV ₁	D _{LCO}
MET <4	-1.58 \pm 1.28	-1.82 \pm 1.36	-1.57 \pm 1.28
MET \geq4	-0.64 \pm 0.92	-0.75 \pm 1.00	-0.99 \pm 1.10
ASA Gruppe 1	-0.52 \pm 1.13	-0.64 \pm 1.15	-0.88 \pm 0.93
ASA Gruppe 2	-1.44 \pm 1.07	-1.65 \pm 1.21	-1.51 \pm 1.33
Nichtraucher	-0.62 \pm 1.15	-0.71 \pm 1.2	-0.92 \pm 0.99
Ehemalige Raucher	-1.25 \pm 1.13	-1.44 \pm 1.32	-1.42 \pm 1.38
Aktive Raucher	-1.45 \pm 1.13	-1.74 \pm 1.02	-1.49 \pm 1.15

SD= Standardabweichung, MET=Metabolische Äquivalente, ASA= American Society of Anesthesiologists

Ein Zweistichproben-t-Test mit einer Gruppe von Patienten mit mindestens vier und einer Vergleichsgruppe mit Patienten mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten zeigte für die Z-Score-Werte FVC ($p < 0,001$), FEV₁ ($p < 0,001$) und D_{LCO} ($p < 0,004$) signifikant unterschiedliche Ergebnisse der beiden MET-Gruppen. Dabei zeigte die Gruppe mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten signifikant niedrigere Z-Scores als diejenige mit mehr als vier metabolischen Äquivalenten (s. Abb. 16).

Die nachfolgenden Boxplots (s. Abb. 16, Abb. 17, Abb. 18) zeigen in ihren grau hinterlegten Kästen den Bereich, in dem 50% aller Daten liegen und die nach unten und oben reichenden Linien das Minimum und Maximum der Datenpunkte ohne Ausreißer. Milde Ausreißer, welche das 1,5-fache des Interquartilsabstandes übersteigen, sind mit leeren Kreisen gekennzeichnet. Extreme Ausreißer, welche das 3-fache des Interquartilsabstandes übersteigen, werden als Stern dargestellt. Der Median ist als schwarze Linie in den grau hinterlegten Boxen abzulesen.

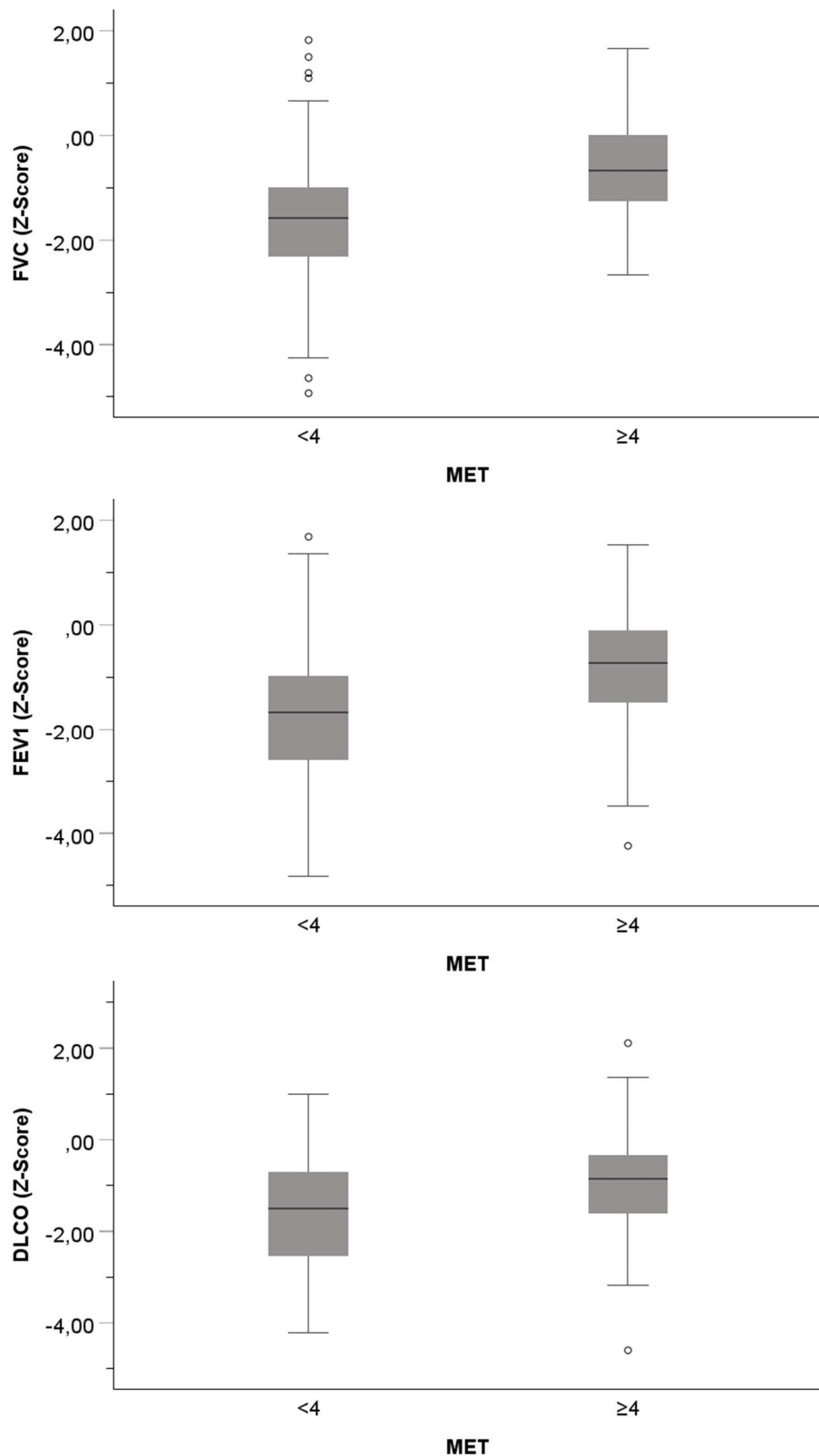


Abb. 16 Boxplots der untersuchten Lungenparameter mit metabolischen Äquivalenten

MET= Metabolische Äquivalente, FVC=Forcierte Vitalkapazität, FEV₁=Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde, DLCO= Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Ein Zweistichproben-t-Test mit den ASA Gruppen 1 und 2 zeigte bei allen drei Z-Scores signifikant unterschiedliche Mittelwerte der beiden Gruppen (FVC $p < 0,001$, FEV_1 $p < 0,001$, D_{LCO} $p < 0,002$). Hierbei zeigten die niedrigeren ASA-Klassen die bessere Lungenfunktion (s. Abb. 17).

Trotz guter metabolischer Äquivalente ($MET \geq 4$) und ASA Gruppe 1 wiesen 11 Patienten (13,75%) eine obstruktive Ventilationsstörung und 9 Patienten (17,65%) eine Diffusionsstörung auf.

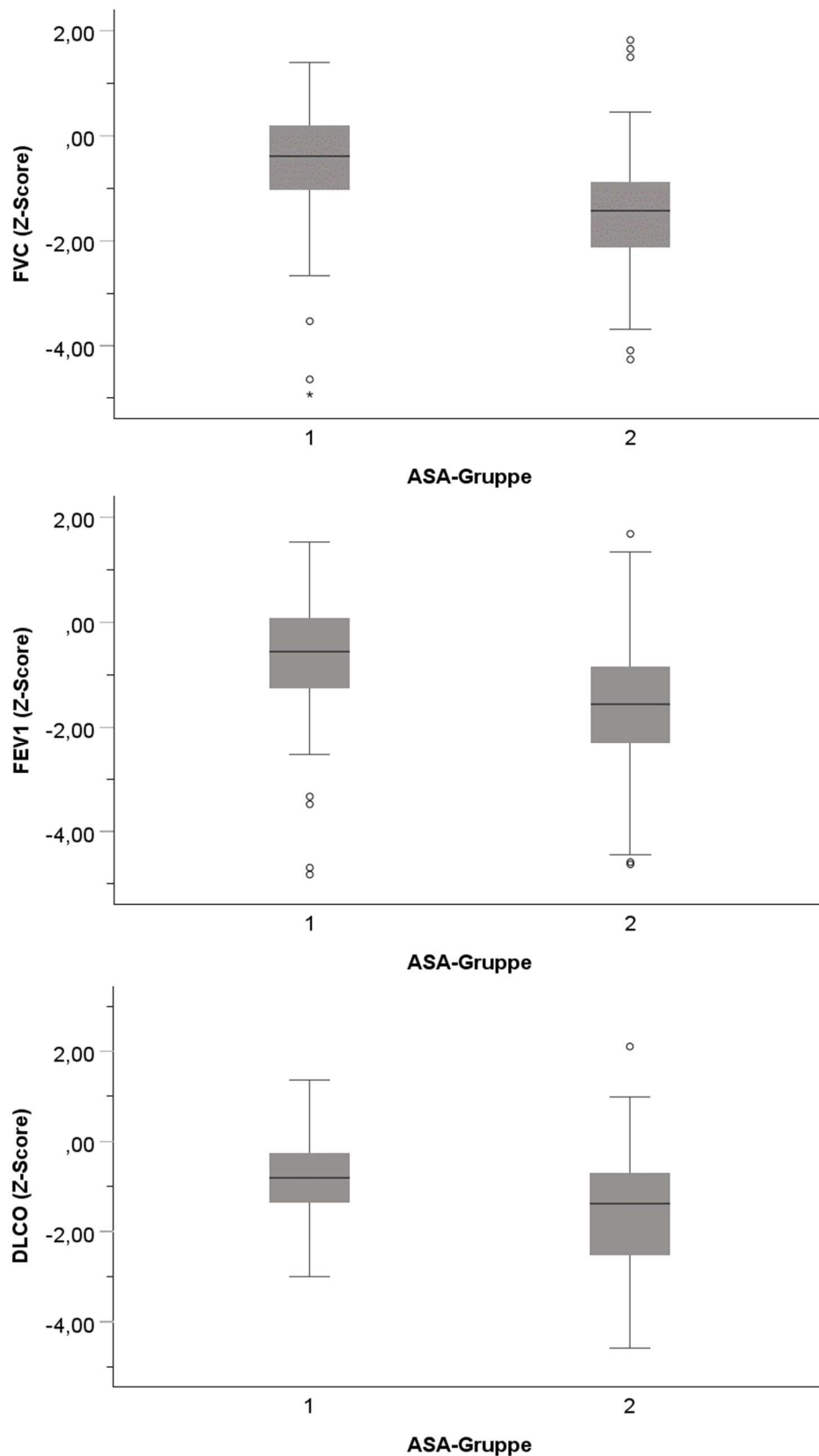


Abb. 17 Boxplots der untersuchten Lungenparameter mit ASA-Gruppen

ASA=American Society of Anesthesiologists, FVC=Forcierte Vitalkapazität, FEV₁=Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde, DLCO= Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Die Z-Scores für FVC, FEV₁ und D_{LCO} zeigten die höchsten Werte in der Gruppe der Nichtraucher, die niedrigsten Werte in der Gruppe der aktiven Raucher und zwischen diesen beiden Gruppen mittig gelegene Werte für die ehemaligen Raucher (s. Abb. 18). Der Raucherstatus wies einen signifikanten Einfluss auf alle Lungenparameter auf (FVC und FEV₁ $p < 0,001$, D_{LCO} $p = 0,038$). Dies zeigte sich besonders deutlich für den FVC und FEV₁ Wert, weniger stark für die D_{LCO}.

Nachfolgend untersuchten wir den Einfluss des BMI auf die Lungenfunktion. Das erste Streudiagramm zeigt einen negativen Zusammenhang zwischen zunehmendem BMI und dem FVC Z-Score (s. Abb. 19). Die lineare Regression bestätigt diesen Zusammenhang als signifikant ($p < 0,001$). Der Graph des FEV₁ Z-Scores zeigt einen leicht negativen Zusammenhang zwischen FEV₁ und dem BMI, welcher sich in der linearen Regression als nicht signifikant darstellt ($p = 0,189$). Das letzte Streudiagramm verdeutlicht einen positiven Zusammenhang zwischen D_{LCO} Z-Score und BMI (s. Abb. 19). Die zugehörige lineare Regression ergibt einen signifikanten positiven Einfluss des BMIs auf die Diffusionskapazität ($p = 0,002$).

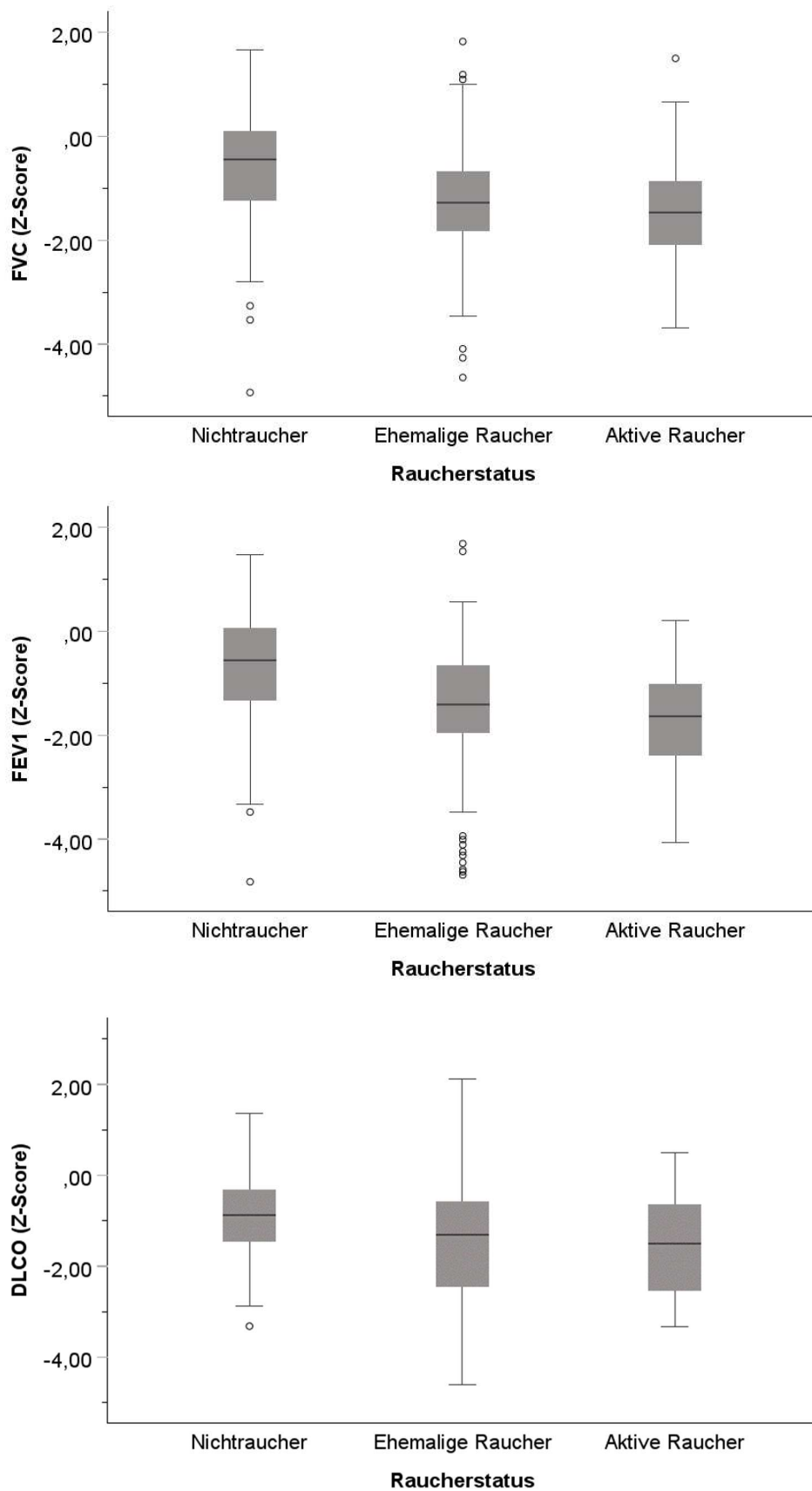


Abb. 18 Boxplots der untersuchten Lungenparameter mit Raucherstatus

FVC=Forcierte Vitalkapazität, FEV₁=Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde, D_{LCO}= Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

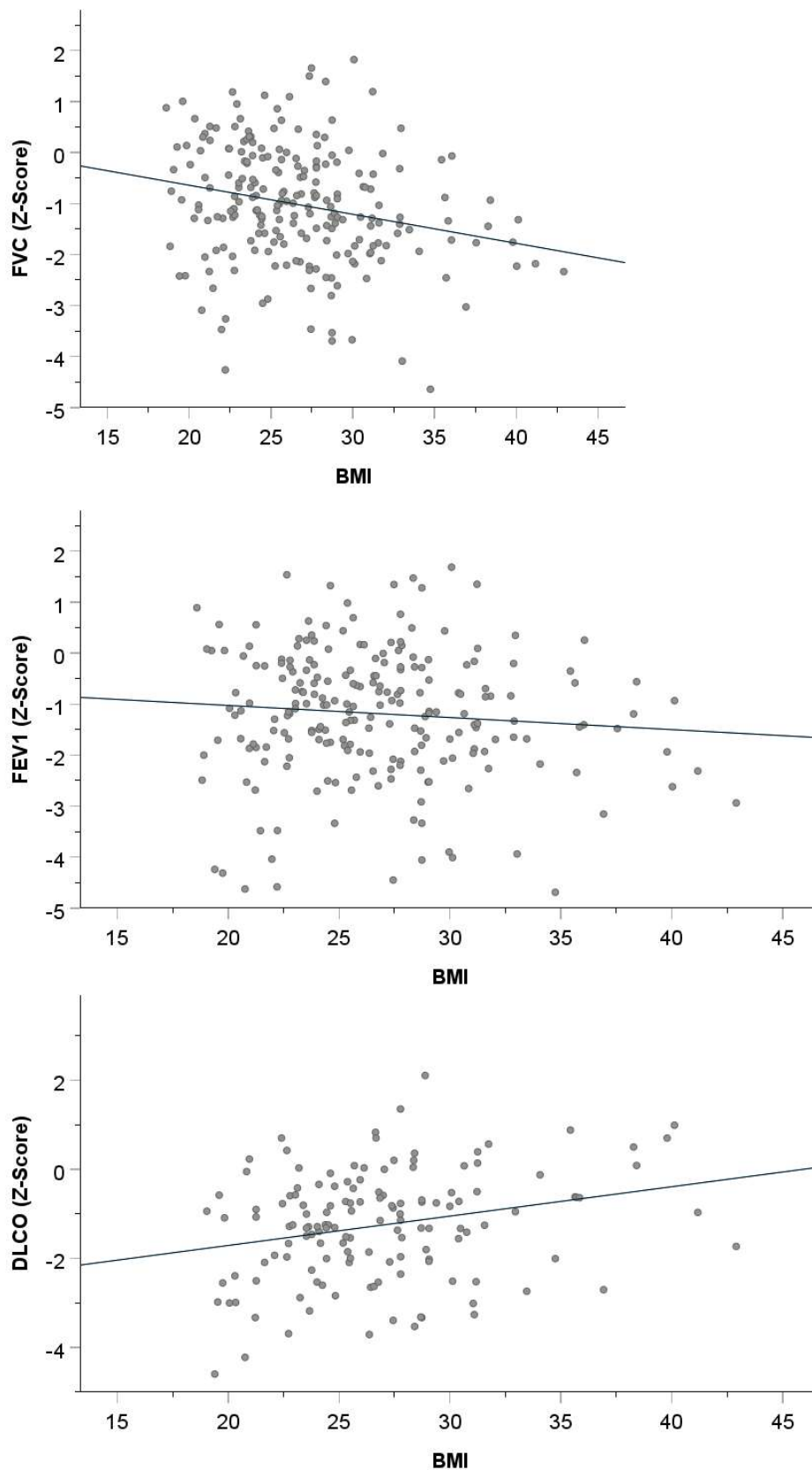


Abb. 19 Streudiagramm der untersuchten Lungenparameter in Bezug auf den BMI

FVC=Forcierte Vitalkapazität, FEV₁=Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde, D_{LCO}= Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Die lineare Regression mit Rückwärtselimination für die einzelnen Lungenparameter ergab beim ersten Regressionsmodell für den FVC-Z-Score keine Signifikanz der Variable „bekannte Lungenerkrankung“ ($p=0,625$) und wurde somit in einem zweiten Modell eliminiert. Alle anderen Variablen zeigten sich signifikant. Beim Regressionsmodell für den FEV₁ Z-Score erwies sich der BMI als statistisch nicht signifikant ($p=0,475$) und die bekannte Lungenerkrankung als gerade noch signifikant ($p=0,04$). Ein weiteres Regressionsmodell enthielt somit alle Ausgangsvariablen bis auf den BMI. Bei der Regression mit der Diffusionskapazität als abhängiger Variable erwiesen sich die bekannte Lungenerkrankung ($p=0,401$) und in einem zweiten Modell auch die ASA-Klasse als nicht signifikant ($p=0,063$). Im endgültigen Modell wurden somit die Kontrollvariablen ASA-Klasse und bekannte Lungenerkrankung entfernt. Insgesamt zeigten sich die Anzahl der metabolischen Äquivalente und die Packungsjahre in allen durchgeführten Modellen hochsignifikant.

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Unsere Studie ergab eine relevante Anzahl an zuvor unbekannten obstruktiven Ventilationsstörungen und Beeinträchtigungen der Diffusionskapazität der Lunge. Dabei wichen die Z-Scores der Lungenparameter der untersuchten Risikopopulation signifikant von denen der Allgemeinbevölkerung ab. Weniger als vier metabolische Äquivalente und die Anzahl der gerauchten Packungsjahre zeigten sich als unabhängige Risikofaktoren für eine schlechtere Lungenfunktionsleistung.

4.2 Patientensicherheit und Ressourcenzuweisung

Die präoperative Vorbereitung des Patienten mittels Anamnese, körperlicher Untersuchung und einfacher Diagnostik dient der Verbesserung der Patientensicherheit und adäquaten medizinischen Ressourcenzuweisung. Die Risikostratifizierung erfolgt auf vier Ebenen: 1. Der chirurgischen Dringlichkeit, 2. dem chirurgischen Operationsverfahren, 3. dem Patienten spezifischen Risiko und 4. dem Status relevanter Komorbiditäten. Dabei sollte das individuelle Patientenrisiko immer organspezifisch erhoben werden (Bierle et al. 2020). Respiratorische Komplikationen sind nach Infektionen die zweithäufigsten postoperativen Komplikationen und tragen maßgeblich zu erhöhten Krankenhauskosten bei (Dimick et al. 2004). Patienten mit unerwünschten pulmonalen Ereignissen haben einen längeren Krankenhausaufenthalt und eine erhöhte Mortalitätsrate (Dimick et al. 2004; Fernandez-Bustamante et al. 2017). Selbst milde pulmonale Komplikationen scheinen das postoperative Outcome zu verschlechtern und bedürfen vermehrter Aufmerksamkeit (Fernandez-Bustamante et al. 2017).

Des Weiteren dient die präoperative Risikoabschätzung der Planung der Intensivbettenbelegung, denn Intensivplätze sind kostspielig, erfordern hoch qualifiziertes Personal und sind nicht unbegrenzt verfügbar. Aus diesen Gründen müssen Intensivbettenplätze mittels Triage sowohl medizinisch als auch ethisch korrekt zugeteilt werden (Truog et al. 2006; Michalsen et al. 2021).

4.3 Vergleich der Studienkohorte mit der deutschen Bevölkerung

Ein Vergleich unserer Studienkohorte mit der Allgemeinbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland offenbart einige Besonderheiten. Wir untersuchten 46,5% weibliche und 53,5% männliche Probanden. Deutschlandweit ist das Geschlechterverhältnis beinahe vollständig ausgeglichen mit leichtem Frauenmehranteil (Statistisches Bundesamt 2022). Es nahm ein größerer Anteil an aktiven Rauchern und ehemaligen Rauchern an der Studie teil, als in der Bundesrepublik prozentual vertreten sind. Dies könnte unter anderen daran liegen, dass insgesamt mehr Männer untersucht worden sind und diese ein stärkeres und häufigeres Rauchverhalten zeigen als Frauen (RKI 2017a). Des Weiteren wurden mehr Patienten mit

Übergewicht und Adipositas untersucht, als von der deutschlandweiten Verteilung zu erwarten gewesen wäre (RKI 2017b). Hier könnte ein möglicher Zusammenhang bestehen, zwischen der Notwendigkeit einer Operation und den mit Übergewicht assoziierten Komorbiditäten. Die Altersverteilung und die körperliche Fitness, gemessen in Form von metabolischen Äquivalenten, entspricht aufgrund unserer gewählten Einschlusskriterien (Alter ≥ 75 Jahre oder MET <4) nicht der Allgemeinbevölkerung. Nur wenige Patienten der ASA-Klassen I und IV wurden in die Studie eingeschlossen. Dies liegt daran, dass ASA-Klasse I Patienten zu jung oder zu fit waren, um untersucht zu werden und ASA-Klasse IV Patienten zu krank waren, um in der Prämedikationsambulanz ein Anästhesiegespräch zu erhalten. Die Aufklärung erfolgt in diesen Fällen auf den Bettenstationen. Unsere Patientenpopulation wies deutlich niedrigere Lungenfunktionsmesswerte auf, als von einer geschlechts- und altersangepassten Vergleichsgruppe zu erwarten wäre. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Lungenfunktionsmesswerte bei Menschen erhoben worden sind, die eine Operationsindikation hatten. Insgesamt stellt sich unsere Stichprobe als repräsentativ für präoperative Risikopatienten dar, sodass sich die nachfolgenden Ergebnisse auf weitere, europäische Krankenhäuser der Maximalversorgung mit ähnlichem Aufbau der präoperativen Vorbereitung übertragen lassen.

4.4 Postoperative pulmonale Komplikationen

PPC ereignen sich häufiger und haben größere Kosten zur Folge als kardiovaskuläre Ereignisse (Brinson und Thornton 2018). Zu PPC werden gemäß der European Perioperative Clinical Outcome Kriterien Infektion der Atemwege, respiratorische Insuffizienz, Pleuraerguss, Atelektase, Pneumothorax, Bronchospasmus und Aspirationspneumonie gezählt (Jammer et al. 2015). Patienten, die solche pulmonalen Komplikationen erleiden, zeigen eine deutlich erhöhte Mortalität, einen verlängerten Krankenhausaufenthalt und häufigere Verlegungen auf die Intensivstation (Sabaté et al. 2014). Eine ungeplante Aufnahme auf eine Intensivstation verschlechtert die kurz-, mittel- und langfristige Prognose für den Patienten drastisch (Hamsen et al. 2018). Eine retrospektive Analyse von Traumapatienten zeigte die Auswirkungen einer unplanmäßigen Aufnahme auf die Intensivstation in Form von verlängertem Krankenhausaufenthalt, dem Bedarf nach fortwährender maschineller Beatmung und erhöhten Mortalitätsraten im Gegensatz zu Patienten, welche planmäßig oder nicht auf eine Intensivstation aufgenommen wurden (Rubano et al. 2016). Allgemein scheint es spezifische Risikofaktoren für die unplanmäßige Aufnahme auf eine Intensivstation, darunter erhöhtes Alter, eine höhere ASA-Klasse und eine lange Operationsdauer, zu geben (Quinn et al. 2017).

Die Bürde der PPC ist hinreichend groß, um die Forschung maßgeblich in die Richtung gelenkt zu haben, diese Komplikationen zu antizipieren und ihnen entgegen wirken zu wollen. Die Suche

nach Risikofaktoren und Risikovorhersagemodellen dient der frühzeitigen Erkennung und Ausbesserung von Patientenbedingungen bzw. Anpassung der Anästhesietechniken.

Bislang gibt es keinen etablierten Risikoscore für pulmonale Komplikationen, welcher in der klinischen Praxis bevorzugt angewandt wird. Vielmehr herrscht ein reges Durcheinander zahlreicher Risikomodelle, ohne dass die Leitlinien eines dieser Modelle klar empfehlen können (Ellinger et al. 2021; Zwissler 2019; Hert et al. 2018). Die Schwierigkeit ein bestimmtes Modell zur Risikoabschätzung auszuwählen, liegt unter anderem an Definitionsunterschieden bezüglich pulmonaler Komplikationen. So bezieht sich der Risikoscore der ARISCAT (Assess Respiratory Risk in Surgical Patients in Catalonia) Studie auf alle European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) Definitionen pulmonaler Komplikationen (Canet et al. 2010), der PERISCOPE-RF (Prospective evaluation of a risk score for postoperative pulmonary complications in Europe) Score berechnet das Risiko nur für das Auftreten von respiratorischer Insuffizienz (Canet et al. 2015) und der SPORC (score for prediction of postoperative respiratory complications) Score verwendet eigene statt der definierten EPCO Kriterien (Brueckmann et al. 2013). Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2017 identifizierte neunzehn unterschiedliche Risikovorhersagemodelle zum Auftreten pulmonaler Komplikationen (Miskovic und Lumb 2017). In den letzten Jahren wurden mehr Risikomodelle entwickelt, als bereits vorhandene validiert worden sind. Bislang gibt es nur einen prospektiv erarbeiteten und extern validierten Risikoscore zur Vorhersageprognose von PPC (Canet et al. 2010; Mazo et al. 2014). Um Ärzte bei der Planung eines operativen Eingriffes bestmöglich unterstützen zu können, wäre eine Vereinheitlichung der Risikomodelle und die Prüfung deren Anwendbarkeit wünschenswert. Unsere Studienergebnisse mit ihrer beträchtlichen Anzahl an neu entdeckten pathologischen Lungenfunktionswerten bestätigen die Dringlichkeit, ein validiertes Risikomodell für PPC einzuführen.

Selbst nach vielen durchgeführten Studien fällt es schwer, sich auf bestimmte Risikofaktoren für PPC zu einigen (Brinson und Thornton 2018). Es gibt jedoch einige Risikofaktoren, welche in den Forschungsergebnissen immer wieder Erwähnung finden und sich größtenteils zwischen den einzelnen Studien decken. Zu diesen gehören das erhöhte Patientenalter, eine hohe ASA-Klasse, eine durchgemachte respiratorische Infektion einen Monat vor der Operation, ein mangelnder Ernährungszustand, das Vorliegen einer COPD oder präoperativer respiratorischer Symptome und Nikotinabusus (Brinson und Thornton 2018; Miskovic und Lumb 2017). Diese Risikofaktoren können in modifizierbare und nicht-modifizierbare Faktoren weiter untergliedert werden. Dabei sind es vor allem die modifizierbaren Patientenfaktoren wie z.B. der Nikotinabusus oder der Ernährungszustand, welche präoperativ verbessert werden können. Dem Anästhesisten kommt bei der Prävention pulmonaler Komplikationen eine besondere Rolle zu, da dieser

patientenbezogenen Risikofaktoren präoperativ und nicht-modifizierbaren- Risikofaktoren während der Operation besondere Aufmerksamkeit schenken kann (Sabaté et al. 2014). Präoperativ kann der Anästhesist bei Bedarf einen Rauchverzicht, eine Ernährungsverbesserung oder Physiotherapie empfehlen, sowie intraoperativ auf den Patienten angepasste Beatmungseinstellungen und ein möglichst vorteilhaftes Anästhetikum und Analgesieverfahren wählen (Marseu und Slinger 2016; Groeben 2006). Wie ein solches Beatnungsmanagement zur Vermeidung von PPC aussehen könnte, ist Gegenstand aktueller Forschung (Colquhoun et al. 2021; Karalapillai et al. 2020).

4.5 Lungenfunktionsdiagnostik

Robitaille et al. führte im Jahr 2015 ein ähnliches präoperatives Lungenscreening durch und erfasste bei insgesamt 449 untersuchten Patienten bei 26% eine bisher nicht diagnostizierte obstruktive Ventilationsstörung mit Verdacht auf COPD. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass durch das Screeningprogramm eine signifikante Anzahl an neuen obstruktiven Ventilationsstörungen entdeckt werden kann (Robitaille et al. 2015). Die Studie untersuchte jedoch nur ehemalige Raucher und aktive Raucher mit respiratorischen Symptomen oder Patienten mit COPD oder Asthma in der Anamnese. Unsere Patientenpopulation war breiter aufgestellt und prüfte zudem mögliche Zusammenhänge mit der ASA-Klasse, metabolischen Äquivalenten und dem BMI. Die Durchführung einer Spirometrie im Rahmen eines Lungenkrebs-Screeningprogrammes identifizierte ebenfalls eine signifikante Anzahl neuer obstruktiver Ventilationsstörungen (Balata et al. 2020). Die Ergebnisse beider Studien bestätigen unsere Erkenntnis, durch ein gezieltes Screeningprogramm eine Vielzahl bisher unbekannter Ventilationsstörungen entdecken zu können. Insgesamt entdeckten wir bei 28% der untersuchten Patienten eine zuvor nicht bekannte obstruktive Ventilationsstörung. Diese Zahl deckt sich mit den vorherigen Studiendaten.

Bei welchen Patientengruppen und ob eine präoperative Lungenfunktionstestung überhaupt sinnvoll und zielbringend erscheint, wird stark diskutiert. Dabei gehen die Ergebnisse einzelner Studien auseinander. Eine Studie aus Nigeria an 50 Patienten untersuchte den Einsatz der präoperativen Spirometrie als Risikoindikator für nachfolgende PPC und stellte dabei eine deutliche Assoziation zwischen verminderter Einsekundenkapazität und verminderter forcierter Vitalkapazität und dem Auftreten von pulmonalen Komplikationen fest (Ufoaroh et al. 2019). Eine retrospektive Studie an 213 über 60-jährigen Patienten, welche einer laparoskopischen Gastrektomie unterzogen wurden, kommt zu dem Schluss, dass eine präoperative Spirometrie PPC nicht zuverlässig vorhersagen kann und daher für die präoperative Risikostratifizierung ungeeignet ist (Huh et al. 2013). Bei Patienten die eine Aortenklappenersatz erhielten, zeigte sich

eine durch Lungenfunktionstestung diagnostizierte moderate bis schwere Lungenerkrankung als unabhängiger Prädiktor der Mortalität (Henn et al. 2016). Auch bei Patienten bei welchen eine operative Versorgung eines Aortenaneurysmas erfolgte, erwiesen sich der Nachweis einer schweren COPD, einer verminderten Einsekundenkapazität oder einer verminderten forcierten Vitalkapazität als wichtige Vorhersagewerte der Langzeitmortalität (Ohrlander et al. 2012).

Die Eingriffe, denen sich unsere Patienten unterzogen haben, stammten aus allen operativen Fachrichtungen und reichten von einfachen urologischen Eingriffen bis hin zu komplexen Herzoperationen. Diese Heterogenität unserer Studienpopulation ist sowohl Stärke als auch Schwäche zugleich, da wir zum einen viele Patienten und ihre Lungenfunktionswerte abbilden konnten aber zum anderen die Heterogenität der operativen Eingriffe die Risikoauswertung erschwert. Unsere Patientenpopulation glich sich demnach in ihrem Profil als Risikopatient, aufgrund des hohen Alters oder geringer körperlicher Fitness, unterschied sich jedoch stark im individuellen Risiko für pulmonale Komplikationen des jeweiligen Operationsverfahrens. Es bleibt somit in weiteren Studien herauszufinden, ob eine Spirometrie fachübergreifend oder nur für bestimmte Operationsfelder sinnvoll erscheint.

4.6 Messung der Diffusionskapazität der Lunge für Kohlenstoffmonoxid

Eine Stärke unserer Studie lag bei der zusätzlich zur Spirometrie durchgeführten Messung der D_{LCO} . Die D_{LCO} misst die Gasaustauschfähigkeit der Lunge und spiegelt die komplexen Mechanismen des Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidtransports entlang der alveolo-kapillären Membran wider (Krogh 1915; Weibel 2017). Pathologien der Lunge, ihrer alveolo-kapillären Membran und ihrer Fähigkeit Atemgase auszutauschen, können sich somit in einer veränderten D_{LCO} niederschlagen. Eine Reihe von Lungenerkrankungen, darunter die pulmonale Hypertonie und COPD zeigen deutliche Zusammenhänge mit der D_{LCO} .

So kann die Diffusionskapazitätsmessung ein erstes Indiz für das Vorliegen einer pulmonalen Gefäßerkrankung sein und dient der Identifizierung von pulmonaler arterieller Hypertonie bei Patienten mit systemischer Sklerose (Zou et al. 2020; Sivova et al. 2013). Zudem zeigt sich die D_{LCO} als unabhängiger Prädiktor für das Überleben von Patienten mit pulmonaler Hypertonie (Stadler et al. 2019). In einer Studie, die die D_{LCO} bei Patienten mit idiopathischer pulmonaler Hypertonie maß, ging eine erniedrigte D_{LCO} mit einer erhöhten Mortalität einher und war zudem mit männlichem Geschlecht, höherem Alter, geringerer körperlicher Fitness und dem vermehrtem Vorliegen von koronarer Herzkrankheit assoziiert (Szturmowicz et al. 2016).

Bei der COPD erfolgt eine standardisierte Beurteilung des Patientenstatus mittels klinischer Untersuchung, Symptom- und Exazerbationserfassung, CT und Spirometrie, nicht jedoch mithilfe

der D_{LCO} . Eine Metaanalyse untersuchte den prognostischen und diagnostischen Wert der D_{LCO} in Bezug auf die COPD und stellte fest, dass die Diffusionskapazität ein wichtiges Maß für den Schweregrad der Erkrankung, das Exazerbationsrisiko, die Mortalität und für das Vorliegen von Emphysemen und pulmonaler Hypertonie ist (Ni et al. 2021).

Neben ihrem diagnostischen Wert zeigte sich die D_{LCO} auch als prädiktiver Indikator für die Gesamtmortalität der allgemeinen (westlichen) Bevölkerung (Neas und Schwartz 1998). Der präoperativen Erfassung der Diffusionskapazität kommt eine besondere Rolle in der Lungen- und Herzchirurgie zu. Bei Patienten nach Lungenresektion ist eine verminderte D_{LCO} mit vermehrten pulmonalen Komplikationen und stark erhöhter Morbidität und Mortalität assoziiert (Salati und Brunelli 2016; Ferguson und Vigneswaran 2008; Cerfolio und Bryant 2009). Bei herzchirurgischen Patienten zeigt sich die D_{LCO} als ein wichtiger prädiktiver Faktor für postoperative Komplikationen (Kuwata et al. 2019).

Unsere Studiendaten lieferten bei 145 durchgeführten D_{LCO} -Messungen 19 zuvor nicht festgestellte mittel- bis schwergradige Diffusionsstörungen. Dies entspricht 13% der untersuchten Probanden, welche eine für die Operation und ihr Outcome potenziell relevante Pathologie der Lunge aufwiesen. Analog zu den in den Studien festgestellten Komorbiditäten, welche mit einer erniedrigten Diffusionskapazität einhergehen, zeigte sich bei unseren Forschungsergebnissen eine deutliche Assoziation zwischen einer niedrigen Diffusionskapazität und höheren ASA-Klasse ($p=0,001$). Ebenso war eine geringe körperliche Fitness mit einer niedrigen Diffusionskapazität assoziiert. Inwieweit die Patienten mit mittel- bis schwergradigen Einschränkungen der Diffusionskapazität tatsächlich ein schlechteres perioperatives Outcome zeigten, bleibt ohne postoperatives Follow-up jedoch unklar.

4.7 Körperliche Fitness und Lungenfunktion

Mehrere aktuelle Studien zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness und Lungenfunktion (Bédard et al. 2020; Hancox und Rasmussen 2018; Farkhooy et al. 2018; Fuertes et al. 2018; Luzak et al. 2017). Dieser Zusammenhang zeigt sich sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern (Hancox und Rasmussen 2018). Bédard et al. prüfte die mögliche reverse Kausalität zwischen körperlicher Fitness und Lungenfunktion, da unklar ist, ob die gute Fitness eine gute Lungenfunktion bedingt oder aber ob eine gute Lungenfunktion zu einer besseren Fitness führt. Diese Frage nach dem „Huhn und dem Ei“ beantwortete die Studie mit einem bidirektionalen Einfluss beider Parameter zueinander. Wie genau der biochemische Mechanismus zwischen einer verbesserten Lungenfunktion durch vermehrte körperliche Aktivität funktioniert, ist zum aktuellen Stand der Forschung nicht ausreichend geklärt. Ein möglicher Ansatz diesen Zusammenhang zu erklären, besteht in der Betrachtung des C-reaktiven Proteins (CRP), eines

inflammatorischen Markers unseres Körpers. Bei regelmäßiger körperlicher Aktivität werden anti-inflammatorische Zytokine gebildet und inflammatorische Zytokine und CRP herunterreguliert, sodass regelmäßige körperliche Betätigung die Konzentration inflammatorischer Marker im Körper senkt (Das 2004). Umgekehrt können hohe CRP-Konzentrationen inflammatorische pulmonale Zellen aktivieren und so zur Schädigung der kleinen Luftwege und einer Beeinträchtigung der Lungenfunktion führen (Clarkson und Thompson 2000; Shaaban et al. 2006). Der positive Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Lungenfunktion scheint demnach maßgeblich durch das CRP vermittelt zu werden (Chen et al. 2020).

Bei Patienten, die eine radikale Zystektomie erhalten haben, wiesen diejenigen mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten einen deutlich verlängerten Krankenhausaufenthalt im Gegensatz zu denen mit mindestens vier metabolischen Äquivalenten auf (Shea et al. 2021). Zientara et al. analysierten Patientendaten nach offenem oder endovaskulärem Aortenersatz und verzeichneten dabei eine signifikant höhere Anzahl an Komorbiditäten bei Patienten mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten. Die Mortalität der Patientengruppe mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten war höher als diejenige der Patienten mit mehr als vier metabolischen Äquivalenten, statistisch jedoch nicht signifikant. Die Autoren selbst führen die fehlende Signifikanz auf eine zu geringe Stichprobengröße und das retrospektive Studiendesign zurück (Zientara et al. 2021).

In unserer Studienpopulation zeigten Patienten mit mindestens vier metabolischen Äquivalenten signifikant bessere Lungenfunktionsmesswerte für FVC ($p < 0,001$), FEV_1 ($p < 0,001$) und D_{LCO} ($p = 0,005$) als Patienten mit weniger als vier metabolischen Äquivalenten. Dies stützt den in der Literatur beschriebenen Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness und verbesserter Lungenfunktion. Auch die in unserer Studie durchgeführten linearen Regressionen zeigten weniger als vier metabolische Äquivalente als unabhängigen, signifikanten Risikofaktor für geringere Lungenfunktionswerte. Dabei wählten wir MET, ASA-Klasse, BMI, Anzahl der Packungsjahre und Lungenerkrankungen als erklärende Variablen und FVC ($p = 0,002$), FEV_1 ($p < 0,001$) und D_{LCO} (0,017) als abhängige Variablen. Bei der präoperativen Einschätzung der Anzahl der metabolischen Äquivalente eines Patienten handelt es sich um eine Momentaufnahme des körperlichen Zustandes. Diese Einschätzung spiegelt jedoch nicht die körperliche Aktivität eines Menschen über einen längeren Zeitraum wider. Somit kann nicht prinzipiell darauf geschlossen werden, dass Patienten mit mehr als vier metabolischen Äquivalenten sich in ihrem Leben regelmäßig körperlich betätigen. Trotz dieser Momentaufnahme der körperlichen Fitness zeigen unsere Ergebnisse einen deutlichen positiven Einfluss der metabolischen Äquivalente auf die Lungenfunktion.

4.8 ASA-Klassifikation

Die ASA-Klassifikation ist trotz häufig bemängelter hoher Interratervariabilität eines der wichtigsten Mittel zur einfachen und schnellen Risikostratifizierung präoperativer Patienten (Böhmer 2021). Da die ASA-Klassifikation die Patienten anhand ihres medizinischen Gesamtbildes einordnet, erscheint es plausibel, dass eine höhere ASA-Klasse mit einer verminderten Lungenfunktion einhergeht (Böhmer 2021). Jedoch sollte die ASA-Klasse allein niemals als operativer Risikofaktor gewertet, sondern nur in Zusammenschau mit anderen Faktoren betrachtet werden (Horvath et al. 2021). Einen solchen Faktor könnte die von uns durchgeführte Spirometrie darstellen, da sie dazu in der Lage ist, Beeinträchtigungen der Lungenfunktion aufzuweisen. Diese Beeinträchtigungen der Lungenfunktion stellen dann neben einer hoch eingeschätzten ASA-Klasse einen zusätzlichen Risikofaktor dar. Die von uns erhobenen Lungenfunktionswerte, zeigen signifikante Unterschiede zwischen den zusammengefassten ASA-Gruppen. Dabei wurden die ASA-Klassen I und II zur Gruppe 1 und ASA-Klassen III und IV zur Gruppe 2 zusammengefasst und Gruppe 1 zeigte für FVC ($p < 0,001$), FEV_1 ($p < 0,001$) und D_{LCO} ($p = 0,001$) deutlich bessere Lungenfunktionsmesswerte als Gruppe 2. Unsere Ergebnisse legen nahe, die ASA-Klasse und die Lungenfunktion in einem sinnvollen Zusammenhang betrachten zu können.

Jedoch zeigten sich auch obstruktive Ventilationsstörungen und Beeinträchtigungen der Diffusionskapazität bei Patienten welche anhand ihrer ASA-Klassifikation und ihrer metabolischen Fitness als „Nicht-Risiko“ Patienten eingestuft worden wären. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Lungenfunktions- und DLCO Testung zusätzliche Informationen zur präoperativen Risikoabschätzung leisten könnte.

4.9 Übergewicht und Adipositas

Die Adipositasprävalenz in Deutschland steigt stetig an, sodass auch immer mehr adipöse Patienten operiert werden müssen (RKI 2017b). Hospitalisierte adipöse Patienten haben ein erhöhtes Risiko respiratorische und kardiovaskuläre Komplikationen zu erleiden und sind häufiger von Infektionen und akuter Niereninsuffizienz betroffen (Schetz et al. 2019). Adipositas bedingt eine Steigerung der Atemanstrengung, da durch das zusätzliche abdominelle Fettgewebe das Zwerchfell nach kranial verlagert wird und sich vor allem in der liegenden Position einem starken Gegendruck ausgesetzt sieht (Piper und Grunstein 2010). In Folge dessen wirkt sich ein übermäßiger Körperfettanteil negativ auf die Lungenvolumina, dabei besonders stark auf die FRC und das ERV, aus (Jones und Nzekwu 2006; Davidson et al. 2014; Mehari et al. 2015). Auch die FVC und das FEV_1 können bei Adipositas niedrigere Werte aufweisen (Schachter et al. 2001).

Hierbei ist die Literatur allerdings weniger eindeutig und zeigt teilweise gegensätzliche oder nicht signifikante Ausprägungen des BMI Effektes auf die FVC und FEV₁ (Davidson et al. 2014).

Wir untersuchten 6 untergewichtige, 88 normalgewichtige, 86 präadipöse und 50 adipöse Patienten. Dabei weisen unsere Studienergebnisse eine deutliche Abnahme des FVC Z-Scores ($p < 0,001$) mit steigenden BMI auf und stimmen diesbezüglich mit Schachter et al. (2001) überein. Der Einfluss des BMIs auf die FEV₁ ($p = 0,189$) zeigte sich bei uns im Gegensatz zu Schachter et al. als nicht signifikant und stützt in diesem Fall die Studienlage von Davidson et alii (2014). Der Einfluss des BMIs auf die D_{LCO} wird bislang strittig diskutiert und erforscht. Es gibt Studien, die eine Zunahme der Diffusionskapazität mit steigendem BMI zeigten, sowie Studien die den gegenteiligen Effekt beobachten konnten (Davidson et al. 2014; Pekkarinen et al. 2012; Mehari et al. 2015). Unsere Messergebnisse zeigen einen signifikant positiven Einfluss eines steigenden BMIs auf die D_{LCO} ($p = 0,002$). Ein Erklärungsansatz für die verbesserte D_{LCO} bei Adipositas könnte ein vermehrter pulmonaler Blutfluss sein, wobei die Pathomechanismen der Diffusionskapazität bei Adipositas bisher unzureichend erforscht sind (Ray et al. 1983). Ebenso könnte man mutmaßen der positive Effekt des BMIs auf die D_{LCO} könnte verschwinden, sobald man die Körperzusammensetzung gezielter in Form von Muskelmasse und Fettmasse bestimmen würde (Pekkarinen et al. 2012). Diese sehr heterogene Studienlage bezüglich des Einflusses des BMIs auf die FVC, FEV₁ und D_{LCO} bedarf weiterer klinischer Prüfung mit größeren Studienkohorten. Zusätzlich sollten die Pathomechanismen der Atmung bei adipösen Patienten weiter erforscht werden, um die den Lungenfunktionsmesswerten zugrunde liegenden Ursachen zu verstehen. Es ist jedoch allgemein bekannt, dass adipöse Patienten Veränderungen in der Anatomie und Physiologie ihres respiratorischen Systems durchlaufen und aufgrund dessen besondere Aufmerksamkeit bei der mechanischen Beatmung benötigen (Jong et al. 2020; Imber et al. 2016). Zudem gibt es Evidenz, dass Adipositas einen Risikofaktor für PPC darstellen könnte (Bazurro et al. 2018; Mendonça et al. 2014a).

4.10 Tabakkonsum

Aktives Rauchen erhöht die Krankenhausmortalität um bis zu 20% und das Risiko für postoperative Komplikationen um bis zu 40% (Pierre et al. 2017). Zu diesen Komplikationen gehören lokale Komplikationen wie eine schlechtere Wundheilung, erhöhte Infektionsgefahr im Operationsbereich, verlangsamte Frakturheilung und allgemeine Komplikationen wie Pneumonie, unplanmäßige Intubation, pulmonale Embolie, Ventilationsbedarf > 48 Stunden, Schlaganfall, Herzinfarkt, Sepsis und Schock (Rodriguez-Merchan 2018; Schmid et al. 2015; Pierre et al. 2017). Auch die Gefahr für PPC ist bei aktiven Rauchern deutlich erhöht (Grønkjær et al. 2014). Unsere Patienten wiesen signifikante Unterschiede in den Lungenfunktionsparametern FVC ($p < 0,001$),

FEV₁ ($p < 0,001$) und D_{LCO} ($p = 0,038$) zwischen aktiven Rauchern, ehemaligen Rauchern und Nichtrauchern auf. Dabei zeigten die Nichtraucher die besten und die aktiven Raucher die schlechtesten Ergebnisse. Im Angesicht der Relevanz des Raucherstatus auf die Lungenfunktion könnte eine Spirometrie besonders bei Rauchern als Motivation genutzt werden, die Patienten zu einem Rauchverzicht zu animieren (Martin-Lujan et al. 2021; Westerdahl et al. 2019).

4.11 Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein präoperatives Spirometriescreening mit anschließender D_{LCO}-Messung bei Risikopatienten eine signifikante Anzahl an bisher unbekannten pathologischen Befunden aufdeckt. Von insgesamt 230 untersuchten Patienten wiesen 28% eine bisher unbekannte obstruktive Ventilationsstörung auf und bei 145 durchgeführten Messungen der Diffusionskapazität zeigten ebenfalls 28% eine Beeinträchtigung dieser. Dabei zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Anzahl der metabolischen Äquivalente, der ASA-Klasse und des Tabakkonsums auf die Lungenfunktionsparameter. Jedoch wies eine relevante Anzahl von „Nicht-Risiko“ Patienten, mit mindestens vier metabolischen Äquivalenten und ASA-Klasse eins bis zwei, obstruktive Ventilationsstörungen oder Beeinträchtigungen der Diffusionskapazität auf. Demnach könnten die Erfassung der Lungenfunktion und der Diffusionskapazität zusätzliche Informationen für die präoperative Risikostratifizierung liefern.

Die neu erhobenen Spirometriebefunde können die präoperative Vorbereitung verbessern, indem sie die Aufmerksamkeit der Ärzte auf die möglichen Lungenpathologien lenken. So kann z.B. eine Operation bis zur Besserung des Zustandes verschoben oder die Medikation angepasst werden. Zusätzlich weiß der betreuende Anästhesist um einen erhöhten Vigilanzbedarf bei der intra- und postoperativen Überwachung. Oberstes Ziel ist die Erhöhung der Patientensicherheit vor allem in Anbetracht pulmonaler Komplikationen. Es bleibt herauszufinden, welche Patientengruppe am meisten von einer präoperativen Spirometrie profitiert. Wir wählten Risikopatienten anhand ihres Alters und einer geringen körperlichen Fitness aus, differenzierten allerdings nicht zwischen unterschiedlichen operativen Fachbereichen. Kommende Studien könnten sich mit der Nachverfolgung der präoperativ spirometrisch untersuchten Patienten beschäftigen und prüfen, inwieweit niedrigere Lungenfunktionsparameter mit postoperativen Komplikationen und schlechterem Outcome assoziiert sind.

4.12 Limitationen der Studie

Bei der Messung der D_{LCO} wurden die Lungenparameter nicht auf einen durch Zigarettenkonsum erhöhten CO-Hintergrunddruck und nicht für eine eventuell erniedrigte Hämoglobinkonzentration im Blut angepasst. Dadurch könnte die Diffusionskapazität leicht unterschätzt worden sein. Da für die Bewertung der Studie jedoch nur stark veränderte Lungenfunktionsparameter

ausschlaggebend waren, erscheinen diese ggf. nicht erfassten leichten Abweichungen der Messwerte von geringer Relevanz.

Aufgrund unseres Studiensettings im laufenden Betrieb einer präoperativen Anästhesieambulanz war es für unsere Studie von großer Wichtigkeit den reibungslosen Ablauf der operativen Vorbereitung nicht zu stören. Diesem Umstand geschuldet, wurde auf die fortwährende Durchführung von mindestens drei reproduzierbaren Versuchsmessungen der Spirometrie verzichtet und bei ausreichender Qualität bereits ein oder zwei Versuchsdurchführungen gewertet. Dadurch war die Prozessqualität möglicherweise beeinträchtigt, jedoch konnte auf diese Weise die Durchführbarkeit eines spirometrischen Screenings im laufenden Ambulanzbetrieb getestet und bestätigt werden.

Wir führten neben der klassischen Spirometrie keine Postbronchodilatator-Spirometrie durch, wodurch die Anzahl relevanter Obstruktionen überschätzt worden sein könnte. Um als Screeningmethode anwendbar zu sein, sollte diese jedoch kostengünstig, einfach und schnell durchführbar sein, sodass bei einem Screening auf eine Postbronchodilatator-Spirometrie verzichtet werden kann.

Die Patienten wurden hinsichtlich ihres operativen und postoperativen Verlaufs nicht nachuntersucht, da pathologische Lungenfunktionsmesswerte auf den Narkoseprotokollen vermerkt wurden und somit bereits in die Anästhesie mit einfließen. Des Weiteren wurden die Daten direkt nach ihrer Erhebung anonymisiert. Es ist wünschenswert in weiteren verblindeten Studien zu klären, ob diejenigen Patienten mit niedrigen Z-Scores der Lungenwerte vermehrt zu intra- oder postoperativen Komplikationen neigen.

5 Zusammenfassung

Jeder Patient wird vor einer elektiven Operation von einem Anästhesisten auf seine Narkose vorbereitet. Diese Prämedikation dient der Einschätzung des individuellen Patientenrisikos und der Verbesserung der Patientensicherheit. Sie umfasst die Anamnese, körperliche Untersuchung und Erfassung der körperlichen Belastbarkeit in Form von metabolischen Äquivalenten. Weiterführende diagnostische Untersuchungen werden nur bei Vorliegen bestimmter Risikokonstellationen empfohlen und nicht standardmäßig durchgeführt. Ein belastbares pulmonales und kardiovaskuläres System stellen die zwei bedeutendsten Faktoren für eine sichere Narkose und Operation dar. Bislang erfolgt eine präoperative Lungenfunktionsuntersuchung nach Ermessen des Anästhesisten.

Wir führten ein Lungenfunktionsscreening an einer ausgewählten Risikokohorte in der Prämedikationsambulanz am UKSH Campus Kiel durch. Unsere Fragestellung beschäftigte sich

damit, wie viele pathologische Lungenbefunde wir in dieser Kohorte finden können und mit welchen Patientencharakteristika diese pathologischen Befunde in Verbindung stehen. Als Risikopatienten wurden solche mit mindestens 75 Jahren oder einer geringen körperlichen Belastbarkeit von weniger als vier metabolischen Äquivalenten gewertet. Insgesamt konnten in dieser Studie 230 Patienten untersucht und deren Versuchsergebnisse ausgewertet werden. Untersucht wurden Männer und Frauen, die Operationen aller Fachrichtungen unterzogen wurden.

Bei Erfüllung der Studieneinschlusskriterien und Einwilligung des Patienten erhielt dieser im Anschluss an das Prämedikationsgespräch eine Lungenfunktionsuntersuchung bestehend aus einem expiratorischen Atemmanöver und der Messung der Diffusionskapazität. Das expiratorische Atemmanöver diente der Erfassung von obstruktiven Ventilationsmustern. Der Gasaustausch der Lunge wurde in Form der Diffusionskapazitätsmessung der Lunge für Kohlenstoffmonoxid begutachtet. Für beide Versuche wurde das EasyOne Pro® Spirometer von ndd Medizintechnik AG (Zürich, Schweiz) verwendet. Zusätzlich zu den Lungenfunktionswerten wurden individuelle Patientenfaktoren wie Tabakkonsum, der BMI, pulmonale Vorerkrankungen, die ASA-Klasse und die körperliche Belastbarkeit erfragt.

Von 230 untersuchten Patienten wiesen 81 obstruktive Ventilationsstörungen auf, von welchen 65 (28%) bisher unbekannt waren. Von diesen neu entdeckten obstruktiven Ventilationsstörungen waren 27 mittel- bis schwergradig. Bei 145 auswertbaren Messungen der Diffusionskapazität zeigten sich 40 (28%) bisher nicht bekannte Einschränkungen der Diffusion. Davon waren 19 mittel- bis schwergrade Beeinträchtigungen der Diffusionskapazität.

Insgesamt präsentierte unsere Studienkohorte deutlich schlechtere Lungenfunktionswerte als von der deutschen Allgemeinbevölkerung zu erwarten wäre. Dabei zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen verminderten Lungenfunktionswerten und einer schlechten körperlichen Belastbarkeit. Zudem wiesen Patienten, die niedrigeren ASA-Klassen zugeordnet wurden, signifikant bessere Lungenfunktionsergebnisse auf als Patienten mit höheren ASA-Klassen. Jedoch zeigten 11 Patienten (13,75%) ein obstruktives Atemmuster und 9 Patienten (17,65%) Beeinträchtigungen der Diffusionskapazität trotz guter körperlicher Belastbarkeit und niedriger ASA-Klasse. Die schlechtesten Lungenfunktionsmesswerte erzielten aktive Raucher, mitteldurchschnittliche gute ehemalige Raucher und die besten Werte wurden von Nichtrauchern erreicht.

Die Lungenfunktionsmessungen an präoperativen Risikopatienten entdeckten eine relevante Anzahl an zuvor unbekannten Lungenfunktionsstörungen. Dies wirft die Frage auf, ob eine

Lungenfunktionstestung geknüpft an individuelle Risikofaktoren, insbesondere einer geringen körperlichen Belastbarkeit, in der Prämedikationsambulanz routinemäßig durchgeführt werden sollte.

6 Literaturverzeichnis

© 2020, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease: Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Online verfügbar unter www.goldcopd.org, published in Fontana, WI, USA.

Abdullah, Asnawi; Peeters, Anna; Courten, Maximilian de; Stoelwinder, Johannes (2010): The magnitude of association between overweight and obesity and the risk of diabetes: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Diabetes Research and Clinical Practice*, S. 309–319.

Balata, Haval; Harvey, Jonathan; Barber, Phil V.; Colligan, Denis; Duerden, Rebecca; Elton, Peter et al. (2020): Spirometry performed as part of the Manchester community-based lung cancer screening programme detects a high prevalence of airflow obstruction in individuals without a prior diagnosis of COPD. *Thorax*, S. 655–660.

Bazurro, Simone; Ball, Lorenzo; Pelosi, Paolo (2018): Perioperative management of obese patient. *Current opinion in critical care*, S. 560–567.

Bédard, Annabelle; Carsin, Anne-Elie; Fuertes, Elaine; Accordini, Simone; Dharmage, Shyamali C.; Garcia-Larsen, Vanessa et al. (2020): Physical activity and lung function-Cause or consequence? *PLoS ONE*, e0237769.

Beinlich, I. (1991): Anästhesiebezogene Morbidität und Mortalität. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, S. 177–185.

Bierle, Dennis M.; Raslau, David; Regan, Dennis W.; Sundsted, Karna K.; Mauck, Karen F. (2020): Preoperative Evaluation Before Noncardiac Surgery. *Mayo Clinic proceedings*, S. 807–822.

Blakemore, W. S.; Forster, R. E.; Morton, J. W.; Ogilvie, C. M. (1957): A standardized breath holding technique for the clinical measurement of the diffusing capacity of the lung for carbon monoxide. *J. Clin. Invest.*, S. 1–17.

Böhmer, Andreas (2021): Die aktualisierte Version der ASA-Klassifikation. *Böhmer A, Defosse J, Geldner G, Rossaint R, Zacharowski K, Zwißler B, et al: Die aktualisierte Version der ASA-Klassifikation*, S. 223–228.

Brinson, Erika L.; Thornton, Kevin C. (2018): Preoperative Risk Assessment of Respiratory Failure. *International anesthesiology clinics*, S. 26–46.

Brueckmann, Britta; Villa-Urbe, Jose L.; Bateman, Brian T.; Grosse-Sundrup, Martina; Hess, Dean R.; Schlett, Christopher L.; Eikermann, Matthias (2013): Development and validation of a score for prediction of postoperative respiratory complications. *Anesthesiology*, S. 1276–1285.

Buess, C.; Pietsch, P.; Guggenbühl, W.; Koller, E. A. (1986): A pulsed diagonal-beam ultrasonic airflow meter. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, S. 1195–1199.

Canet, Jaume; Gallart, Lluís; Gomar, Carmen; Paluzie, Guillem; Vallès, Jordi; Castillo, Jordi et al. (2010): Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology*, S. 1338–1350.

Canet, Jaume; Sabaté, Sergi; Mazo, Valentín; Gallart, Lluís; Abreu, Marcelo Gama de; Belda, Javier et al. (2015): Development and validation of a score to predict postoperative respiratory failure in a multicentre European cohort: A prospective, observational study. *European journal of anaesthesiology*, S. 458–470.

- Cerfolio, Robert J.; Bryant, Ayesha S. (2009): Different diffusing capacity of the lung for carbon monoxide as predictors of respiratory morbidity. *The Annals of thoracic surgery*, 405-10; discussion 410-1.
- Chen, Meng; Huang, Chuanying; Feng, Wenjing; Li, Yujie; Wu, Yili (2020): C-reactive protein mediates the association between leisure-time physical activity and lung function in middle-aged and older adults. *BMC Public Health*, S. 6.
- Clarkson, P. M.; Thompson, H. S. (2000): Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? *The American journal of clinical nutrition*, 637S-46S.
- Clavellina-Gaytán, Diana; Velázquez-Fernández, David; Del-Villar, Eduardo; Domínguez-Cherit, Guillermo; Sánchez, Hugo; Mosti, Maureen; Herrera, Miguel F. (2015): Evaluation of spirometric testing as a routine preoperative assessment in patients undergoing bariatric surgery. *Obesity surgery*, S. 530–536.
- Colquhoun, Douglas A.; Leis, Aleda M.; Shanks, Amy M.; Mathis, Michael R.; Naik, Bhiken I.; Durieux, Marcel E. et al. (2021): A Lower Tidal Volume Regimen during One-lung Ventilation for Lung Resection Surgery Is Not Associated with Reduced Postoperative Pulmonary Complications. *Anesthesiology*, S. 562–576.
- Criée et al. (2015): S2k-Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga, der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin zur Spirometrie. AWMF-Leitlinie Registernummer 020–017.
- Das, Undurti N. (2004): Anti-inflammatory nature of exercise. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, S. 323–326.
- Davidson, Warren J.; Mackenzie-Rife, Kelly A.; Witmans, Manisha B.; Montgomery, Mark D.; Ball, Geoff D. C.; Egbogah, Shirley; Eves, Neil D. (2014): Obesity negatively impacts lung function in children and adolescents. *Pediatric pulmonology*, S. 1003–1010.
- Dimick, Justin B.; Chen, Steven L.; Taheri, Paul A.; Henderson, William G.; Khuri, Shukri F.; Campbell, Darrell A. (2004): Hospital costs associated with surgical complications: a report from the private-sector National Surgical Quality Improvement Program. *Journal of the American College of Surgeons*, S. 531–537.
- Doyle, Daniel John; Goyal, Amandeep; Bansal, Pankaj; Garmon, Emily H. (2021): StatPearls. American Society of Anesthesiologists Classification. Treasure Island (FL).
- Eagle, Kim A.; Berger, Peter B.; Calkins, Hugh; Chaitman, Bernard R.; Ewy, Gordon A.; Fleischmann, Kirsten E. et al. (2002): ACC/AHA guideline update for perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery—executive summary. *Journal of the American College of Cardiology*, S. 542–553.
- Edrich, Thomas; Sadovnikoff, Nicholas (2010): Anesthesia for patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Current Opinion in Anaesthesiology*, S. 18–24.
- Ellinger, Elisabeth; Meybohm, Patrick; Röder, Daniel (2021): Präoperative Risikoevaluation und Optimierung des Patientenzustandes. *Anesthesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie : AINS*, S. 159–173.
- Elm, Erik von; Altman, Douglas G.; Egger, Matthias; Pocock, Stuart J.; Gøtzsche, Peter C.; Vandenbroucke, Jan P. (2007): The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *PLoS medicine*, e296.

- Farkhooy, Amir; Bodegård, Johan; Erikssen, Jan Erik; Janson, Christer; Hedenström, Hans; Stavem, Knut; Malinovschi, Andrei (2018): Cross-sectional and longitudinal analyses of the association between lung function and exercise capacity in healthy Norwegian men. *BMC pulmonary medicine*, S. 118.
- Ferguson, G. T.; Enright, P. L.; Buist, A. S.; Higgins, M. W. (2000): Office spirometry for lung health assessment in adults: A consensus statement from the National Lung Health Education Program. *Chest*, S. 1146–1161.
- Ferguson, Mark K.; Vigneswaran, Wickii T. (2008): Diffusing capacity predicts morbidity after lung resection in patients without obstructive lung disease. *The Annals of thoracic surgery*, 1158-64; discussion 1164-5.
- Fernandez-Bustamante, Ana; Frendl, Gyorgy; Sprung, Juraj; Kor, Daryl J.; Subramaniam, Bala; Martinez Ruiz, Ricardo et al. (2017): Postoperative Pulmonary Complications, Early Mortality, and Hospital Stay Following Noncardiothoracic Surgery: A Multicenter Study by the Perioperative Research Network Investigators. *JAMA surgery*, S. 157–166.
- Ferschl, Marla B.; Tung, Avery; Sweitzer, BobbieJean; Huo, Dezheng; Glick, David B. (2005): Preoperative clinic visits reduce operating room cancellations and delays. *Anesthesiology*, S. 855–859.
- Fleg, J. L.; Piña, I. L.; Balady, G. J.; Chaitman, B. R.; Fletcher, B.; Lavie, C. et al. (2000): Assessment of functional capacity in clinical and research applications: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation*, S. 1591–1597.
- Forey, Barbara A.; Thornton, Alison J.; Lee, Peter N. (2011): Systematic review with meta-analysis of the epidemiological evidence relating smoking to COPD, chronic bronchitis and emphysema. *BMC Pulm Med*, S. 36.
- Fuertes, Elaine; Carsin, Anne-Elie; Antó, Josep M.; Bono, Roberto; Corsico, Angelo Guido; Demoly, Pascal et al. (2018): Leisure-time vigorous physical activity is associated with better lung function: the prospective ECRHS study. *Thorax*, S. 376–384.
- Genovese, Elizabeth A.; Fish, Larry; Chaer, Rabih A.; Makaroun, Michel S.; Baril, Donald T. (2017): Risk stratification for the development of respiratory adverse events following vascular surgery using the Society of Vascular Surgery's Vascular Quality Initiative. *Journal of vascular surgery*, S. 459–470.
- Gibson GJ, Loddenkemper R, Sibille Y, Lundbäck B, eds. (2013): The European Lung White Book. Sheffield, European Respiratory Society.
- Gillies, Michael A.; Sander, Michael; Shaw, Andrew; Wijesundera, Duminda N.; Myburgh, John; Aldecoa, Cesar et al. (2017): Current research priorities in perioperative intensive care medicine. *Intensive care medicine*, S. 1173–1186.
- Graham, Brian L.; Brusasco, Vito; Burgos, Felip; Cooper, Brendan G.; Jensen, Robert; Kendrick, Adrian et al. (2017): 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *The European respiratory journal*.
- Groeben, Harald (2006): Epidural anesthesia and pulmonary function. *Journal of anesthesia*, S. 290–299.
- Grønkjær, Marie; Eliassen, Marie; Skov-Ettrup, Lise Skrubbeltrang; Tolstrup, Janne Schurmann; Christiansen, Anne Hjøllund; Mikkelsen, Stine Schou et al. (2014): Preoperative smoking status

and postoperative complications: a systematic review and meta-analysis. *Annals of surgery*, S. 52–71.

Guh, Daphne P.; Zhang, Wei; Bansback, Nick; Amarsi, Zubin; Birmingham, C. Laird; Anis, Aslam H. (2009): The incidence of co-morbidities related to obesity and overweight: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, S. 88.

Haber, Paul (2013): Lungenfunktion und Spiroergometrie. Vienna: Springer Vienna.

Hamsen, U.; Waydhas, C.; Wildenauer, R.; Schildhauer, T. A.; Schwenk, W. (2018): Ungeplante Aufnahmen oder Rückverlegungen auf die Intensivstation : Vermeidbar oder schicksalhaft? *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*, S. 289–295.

Hancox, Robert J.; Rasmussen, Finn (2018): Does physical fitness enhance lung function in children and young adults? *Eur Respir J*, S. 1701374.

Henn, Matthew C.; Zajarias, Alan; Lindman, Brian R.; Greenberg, Jason W.; Melby, Spencer J.; Quader, Nishath et al. (2016): Preoperative pulmonary function tests predict mortality after surgical or transcatheter aortic valve replacement. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 578-85, 586.e1-2.

Hert, Stefan de; Staender, Sven; Fritsch, Gerhard; Hinkelbein, Jochen; Afshari, Arash; Bettelli, Gabriella et al. (2018): Pre-operative evaluation of adults undergoing elective noncardiac surgery: Updated guideline from the European Society of Anaesthesiology. *European journal of anaesthesiology*, S. 407–465.

Horvath, Balazs; Kloesel, Benjamin; Todd, Michael M.; Cole, Daniel J.; Prielipp, Richard C. (2021): The Evolution, Current Value, and Future of the American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification System. *Anesthesiology*, S. 904–919.

Huh, Jin; Sohn, Tae-Sung; Kim, Jin-Kyoung; Yoo, Yeon-Kyeong; Kim, Duk-Kyung (2013): Is routine preoperative spirometry necessary in elderly patients undergoing laparoscopy-assisted gastrectomy? *The Journal of international medical research*, S. 1301–1309.

Iden, Timo; Caliebe, Amke; Renner, Jochen; Hertz, Maj-Britt; Höcker, Jan; Suvanto-Scholz, Päivi et al. (2019): The Extended Postoperative Care-Score (EXPO-Score)-An Objective Tool for Early Identification of Indication for Extended Postoperative Care. *Journal of clinical medicine*.

Imber, David Ae; Pirrone, Massimiliano; Zhang, Changsheng; Fisher, Daniel F.; Kacmarek, Robert M.; Berra, Lorenzo (2016): Respiratory Management of Perioperative Obese Patients. *Respiratory care*, S. 1681–1692.

Irlbeck, T.; Zwißler, B.; Bauer, A. (2017): ASA-Klassifikation : Wandel im Laufe der Zeit und Darstellung in der Literatur. *Der Anaesthetist*, S. 5–10.

Jammer, Ib; Wickboldt, Nadine; Sander, Michael; Smith, Andrew; Schultz, Marcus J.; Pelosi, Paolo et al. (2015): Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) definitions: a statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measures. *European journal of anaesthesiology*, S. 88–105.

Jeong, Oh; Ryu, Seong Yeop; Park, Young Kyu (2013): The value of preoperative lung spirometry test for predicting the operative risk in patients undergoing gastric cancer surgery. *J Korean Surg Soc*, S. 18–26.

- Jones, Richard L.; Nzekwu, Mary-Magdalene U. (2006): The effects of body mass index on lung volumes. *Chest*, S. 827–833.
- Jong, Audrey de; Wrigge, Hermann; Hedenstierna, Goran; Gattinoni, Luciano; Chiumello, Davide; Frat, Jean-Pierre et al. (2020): How to ventilate obese patients in the ICU. *Intensive care medicine*, S. 2423–2435.
- Karalapillai, Dharshi; Weinberg, Laurence; Peyton, Philip; Ellard, Louise; Hu, Raymond; Pearce, Brett et al. (2020): Effect of Intraoperative Low Tidal Volume vs Conventional Tidal Volume on Postoperative Pulmonary Complications in Patients Undergoing Major Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*, S. 848–858.
- Kohut, Barbara; Christodoulou, Michel; Soguel, Ludivine; Roulet, Michel; Berger, Mette M. (2005): Chirurgie thoracique majeure et dénutrition préopératoire: rationnel, diagnostic et prise en charge. *Revue médicale suisse*, S. 2940–2944.
- Kristensen, Steen Dalby; Knuuti, Juhani; Saraste, Antti; Anker, Stefan; Bøtker, Hans Erik; Hert, Stefan de et al. (2014): 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *European journal of anaesthesiology*, S. 517–573.
- Krogh, M. (1915): The diffusion of gases through the lungs of man. *The Journal of physiology*, S. 271–300.
- Kuwata, Toshiyuki; Shibasaki, Ikuko; Ogata, Koji; Ogawa, Hironaga; Takei, Yusuke; Seki, Masahiro et al. (2019): Lung-diffusing capacity for carbon monoxide predicts early complications after cardiac surgery. *Surgery today*, S. 571–579.
- Lee, T. H.; Marcantonio, E. R.; Mangione, C. M.; Thomas, E. J.; Polanczyk, C. A.; Cook, E. F. et al. (1999): Derivation and prospective validation of a simple index for prediction of cardiac risk of major noncardiac surgery. *Circulation*, S. 1043–1049.
- Lumb, A. B. (2019): Pre-operative respiratory optimisation: an expert review. *Anaesthesia*, S. 43–48.
- Luzak, Agnes; Karrasch, Stefan; Thorand, Barbara; Nowak, Dennis; Holle, Rolf; Peters, Annette; Schulz, Holger (2017): Association of physical activity with lung function in lung-healthy German adults: results from the KORA FF4 study. *BMC pulmonary medicine*, S. 215.
- Marseu, K.; Slinger, P. (2016): Peri-operative pulmonary dysfunction and protection. *Anaesthesia*, S. 46–50.
- Martin-Lujan, Francisco; Basora-Gallisa, Josep; Villalobos, Felipe; Martin-Vergara, Nuria; Aparicio-Llopis, Estefania; Pascual-Palacios, Irene et al. (2021): Effectiveness of a motivational intervention based on spirometry results to achieve smoking cessation in primary healthcare patients: randomised, parallel, controlled multicentre study. *Journal of epidemiology and community health*, S. 1001–1009.
- Marwell, Julianna G.; Heflin, Mitchell T.; McDonald, Shelley R. (2018): Preoperative Screening. *Clinics in geriatric medicine*, S. 95–105.
- Mazo, Valentín; Sabaté, Sergi; Canet, Jaume; Gallart, Lluís; Abreu, Marcelo Gama de; Belda, Javier et al. (2014): Prospective external validation of a predictive score for postoperative pulmonary complications. *Anesthesiology*, S. 219–231.

- Mehari, Alem; Afreen, Samina; Ngwa, Julius; Setse, Rosanna; Thomas, Alicia N.; Poddar, Vishal et al. (2015): Obesity and Pulmonary Function in African Americans. *PLoS ONE*, e0140610.
- Mendonça, J.; Pereira, H.; Xará, D.; Santos, A.; Abelha, F. J. (2014a): Obese patients: Respiratory complications in the post-anesthesia care unit. *Revista Portuguesa de Pneumologia (English Edition)*, S. 12–19.
- Mendonça, J.; Pereira, H.; Xará, D.; Santos, A.; Abelha, F. J. (2014b): Obese patients: Respiratory complications in the post-anesthesia care unit. *Revista Portuguesa de Pneumologia (English Edition)*, S. 12–19.
- Michalsen, Andrej; Neitzke, Gerald; Dutzmann, Jochen; Rogge, Annette; Seidlein, Anna-Henrikje; Jöbges, Susanne et al. (2021): Überversorgung in der Intensivmedizin: erkennen, benennen, vermeiden : Positionspapier der Sektion Ethik der DIVI und der Sektion Ethik der DGIIN. *Med Klin Intensivmed Notfmed*, S. 281–294.
- Miller, M. R.; Hankinson, J.; Brusasco, V.; Burgos, F.; Casaburi, R.; Coates, A. et al. (2005): Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, S. 319–338.
- Miskovic, A.; Lumb, A. B. (2017): Postoperative pulmonary complications. *British journal of anaesthesia*, S. 317–334.
- Neas, L. M.; Schwartz, J. (1998): Pulmonary function levels as predictors of mortality in a national sample of US adults. *American Journal of Epidemiology*, S. 1011–1018.
- Ni, Yingmeng; Yu, Youchao; Dai, Ranran; Shi, Guochao (2021): Diffusing capacity in chronic obstructive pulmonary disease assessment: A meta-analysis. *Chronic respiratory disease*, 14799731211056340.
- Nunes, Juscimar C.; Braz, Jose R. C.; Oliveira, Thais S.; Carvalho, Lidia R. de; Castiglia, Yara M. M.; Braz, Leandro G. (2014): Intraoperative and anesthesia-related cardiac arrest and its mortality in older patients: a 15-year survey in a tertiary teaching hospital. *PLoS ONE*, e104041.
- Ohrlander, T.; Dencker, M.; Acosta, S. (2012): Preoperative spirometry results as a determinant for long-term mortality after EVAR for AAA. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*, S. 43–47.
- Pape, Hans-Christian; Kurtz, Armin; Silbernagl, Stefan (2019): Physiologie. 9. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Pekkarinen, E.; Vanninen, E.; Länsimies, E.; Kokkarinen, J.; Timonen, K. L. (2012): Relation between body composition, abdominal obesity, and lung function. *Clinical physiology and functional imaging*, S. 83–88.
- Pellegrino, R.; Viegi, G.; Brusasco, V.; Crapo, R. O.; Burgos, F.; Casaburi, R. et al. (2005): Interpretative strategies for lung function tests. *European Respiratory Journal*, S. 948–968.
- Pierre, Sébastien; Rivera, Caroline; Le Maître, Béatrice; Ruppert, Anne-Marie; Bouaziz, Hervé; Wirth, Nathalie et al. (2017): Guidelines on smoking management during the perioperative period. *Anaesthesia, critical care & pain medicine*, S. 195–200.
- Piper, Amanda J.; Grunstein, Ronald R. (2010): Big breathing: the complex interaction of obesity, hypoventilation, weight loss, and respiratory function. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, S. 199–205.

Poldermans, Don; Bax, Jeroen J.; Boersma, Eric; Hert, Stefan de; Eeckhout, Erik; Fowkes, Gerry et al. (2009): Guidelines for pre-operative cardiac risk assessment and perioperative cardiac management in non-cardiac surgery. *European heart journal*, S. 2769–2812.

Quanjer, Philip H.; Stanojevic, Sanja; Cole, Tim J.; Baur, Xaver; Hall, Graham L.; Culver, Bruce H. et al. (2012): Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *The European respiratory journal*, S. 1324–1343.

Quinn, Timothy D.; Gabriel, Rodney A.; Dutton, Richard P.; Urman, Richard D. (2017): Analysis of Unplanned Postoperative Admissions to the Intensive Care Unit. *Journal of intensive care medicine*, S. 436–443.

Ray, C. S.; Sue, D. Y.; Bray, G.; Hansen, J. E.; Wasserman, K. (1983): Effects of obesity on respiratory function. *Am Rev Respir Dis*, S. 501–506.

Reilly, D. F.; McNeely, M. J.; Doerner, D.; Greenberg, D. L.; Staiger, T. O.; Geist, M. J. et al. (1999): Self-reported exercise tolerance and the risk of serious perioperative complications. *Archives of internal medicine*, S. 2185–2192.

RKI (2017a): Rauchen bei Erwachsenen in Deutschland. *Journal of Health Monitoring*, Ausgabe 2/2017.

RKI (2017b): Übergewicht und Adipositas bei Erwachsenen in Deutschland. *Journal of Health Monitoring*, Ausgabe 2/2017.

Robitaille, Chantal; Dajczman, Esther; Hirsch, Andrew M.; Small, David; Ernst, Pierre; Porubska, Dana; Palayew, Mark (2015): Implementation of a targeted screening program to detect airflow obstruction suggestive of chronic obstructive pulmonary disease within a presurgical screening clinic. *Canadian respiratory journal*, S. 209–214.

Rodriguez-Merchan, E. Carlos (2018): The importance of smoking in orthopedic surgery. *Hospital practice (1995)*, S. 175–182.

Rubano, Jerry A.; Vosswinkel, James A.; McCormack, Jane E.; Huang, Emily C.; Shapiro, Marc J.; Jawa, Randeep S. (2016): Unplanned intensive care unit admission following trauma. *Journal of critical care*, S. 174–179.

Sabaté, Sergi; Mazo, Valentín; Canet, Jaume (2014): Predicting postoperative pulmonary complications: implications for outcomes and costs. *Current Opinion in Anaesthesiology*, S. 201–209.

Saklad, Meyer (1941): GRADING OF PATIENTS FOR SURGICAL PROCEDURES. *Anesthesiology*, S. 281–284.

Salati, Michele; Brunelli, Alessandro (2016): Risk Stratification in Lung Resection. *Current surgery reports*, S. 37.

Satoh, J-I; Yamakage, M.; Kobayashi, T.; Tohse, N.; Watanabe, H.; Namiki, A. (2009): Desflurane but not sevoflurane can increase lung resistance via tachykinin pathways. *British journal of anaesthesia*, S. 704–713.

Schachter, L. M.; Salome, C. M.; Peat, J. K.; Woolcock, A. J. (2001): Obesity is a risk for asthma and wheeze but not airway hyperresponsiveness. *Thorax*, S. 4–8.

Schetz, Miet; Jong, Audrey de; Deane, Adam M.; Druml, Wilfried; Hemelaar, Pleun; Pelosi, Paolo et al. (2019): Obesity in the critically ill: a narrative review. *Intensive Care Med*, S. 757–769.

- Schmid, Marianne; Sood, Akshay; Campbell, Logan; Kapoor, Victor; Dalela, Deepansh; Klett, Dane E. et al. (2015): Impact of smoking on perioperative outcomes after major surgery. *American journal of surgery*, 221-229.e6.
- Scholes, Rebecca L.; Browning, Laura; Sztendur, Ewa M.; Denehy, Linda (2009): Duration of anaesthesia, type of surgery, respiratory co-morbidity, predicted VO₂max and smoking predict postoperative pulmonary complications after upper abdominal surgery: an observational study. *Australian Journal of Physiotherapy*, S. 191–198.
- Schulze, Alexander; Lampert, Thomas (2006): Bundes-Gesundheitssurvey: soziale Unterschiede im Rauchverhalten und in der Passivrauchbelastung in Deutschland. Berlin: Robert Koch-Inst (Gesundheitsberichterstattung des Bundes).
- Shaaban, Rafea; Kony, Sabine; Driss, Fathi; Leynaert, Bénédicte; Soussan, David; Pin, Isabelle et al. (2006): Change in C-reactive protein levels and FEV1 decline: a longitudinal population-based study. *Respiratory medicine*, S. 2112–2120.
- Shea, Chun; Khawaja, Abdul Rouf; Sofi, Khalid; Nabi, Ghulam (2021): Association of metabolic equivalent of task (MET) score in length of stay in hospital following radical cystectomy with urinary diversion: a multi-institutional study. *International urology and nephrology*, S. 1305–1310.
- Sivova, Nadia; Launay, David; Wémeau-Stervinou, Lidwine; Groote, Pascal de; Remy-Jardin, Martine; Denis, Guillaume et al. (2013): Relevance of partitioning DLCO to detect pulmonary hypertension in systemic sclerosis. *PLoS ONE*, e78001.
- Stadler, Stefan; Mergenthaler, Nicoletta; Lange, Tobias J. (2019): The prognostic value of DLCO and pulmonary blood flow in patients with pulmonary hypertension. *Pulmonary circulation*, 2045894019894531.
- Standardization of Spirometry, 1994 Update. American Thoracic Society (1995). *American journal of respiratory and critical care medicine*, S. 1107–1136.
- Stanojevic, Sanja; Graham, Brian L.; Cooper, Brendan G.; Thompson, Bruce R.; Carter, Kim W.; Francis, Richard W.; Hall, Graham L. (2017): Official ERS technical standards: Global Lung Function Initiative reference values for the carbon monoxide transfer factor for Caucasians. *The European respiratory journal*.
- Statistisches Bundesamt (2022): Bevölkerungsstand: Amtliche Einwohnerzahl Deutschlands 2022. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html, zuletzt aktualisiert am 03.01.2022, zuletzt geprüft am 08.06.2022.
- Striebel, Hans Walter (2019): Die Anästhesie. 4. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Szturmowicz, Monika; Kacprzak, Aneta; Franczuk, Monika; Burakowska, Barbara; Kurzyna, Marcin; Fijałkowska, Anna et al. (2016): Low DLCO in idiopathic pulmonary arterial hypertension - clinical correlates and prognostic significance. *Pneumonologia i alergologia polska*, S. 87–94.
- Truog, Robert D.; Brock, Dan W.; Cook, Deborah J.; Danis, Marion; Luce, John M.; Rubenfeld, Gordon D.; Levy, Mitchell M. (2006): Rationing in the intensive care unit. *Critical care medicine*, 958-63; quiz 971.
- Ufoaroh, Chinyelu Uchenna; Ele, Prince Udegbonam; Anyabolu, Arthur Ebelenna; Enemuoh, Emeka Hyacinth; Emegoakor, Chiemelu Dickson; Okoli, Chinedu Christian et al. (2019): Pre-operative pulmonary assessment and risk factors for post-operative pulmonary complications in elective abdominal surgery in Nigeria. *African health sciences*, S. 1745–1756.

Ungern-Sternberg, Britta S. von; Saudan, Sonja; Petak, Ferenc; Hantos, Zoltan; Habre, Walid (2008): Desflurane but not sevoflurane impairs airway and respiratory tissue mechanics in children with susceptible airways. *Anesthesiology*, S. 216–224.

Vos, Theo; Allen, Christine; Arora, Megha; Barber, Ryan M.; Bhutta, Zulfiqar A.; Brown, Alexandria et al. (2016): Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, S. 1545–1602.

Weibel, Ewald R. (2017): Lung morphometry: the link between structure and function. *Cell and tissue research*, S. 413–426.

Westerdahl, Elisabeth; Engman, Kjell Ola; Arne, Mats; Larsson, Matz (2019): Spirometry to increase smoking cessation rate: A systematic review. *Tobacco induced diseases*, S. 31.

Wijesundera, Duminda N.; Austin, Peter C.; Beattie, W. Scott; Hux, Janet E.; Laupacis, Andreas (2009): A population-based study of anesthesia consultation before major noncardiac surgery. *Archives of internal medicine*, S. 595–602.

World Health Organization (2000): Obesity - Preventing and Managing the Global Epidemic. Report on a WHO Consultation. Geneva: World Health Organization. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=284780>.

Yang, Chun Kevin; Teng, Annabelle; Lee, David Y.; Rose, Keith (2015): Pulmonary complications after major abdominal surgery: National Surgical Quality Improvement Program analysis. *The Journal of surgical research*, S. 441–449.

Zientara, Alicja; Schwegler, Igor; Dzemali, Omer; Bruijnen, Hans; Bernheim, Alain; Dick, Florian; Attigah, Nicolas (2021): Evaluation of metabolic equivalents of task (METs) in the preoperative assessment in aortic repair. *BMC surgery*, S. 130.

Zou, Richard H.; Wallace, William D.; Nouraie, S. Mehdi; Chan, Stephen Y.; Risbano, Michael G. (2020): Lower DLco% identifies exercise pulmonary hypertension in patients with parenchymal lung disease referred for dyspnea. *Pulmonary circulation*, 2045894019891912.

Zwissler, B. (2019): Präoperative Evaluation erwachsener Patienten vor elektiven, nicht Herz-Thorax-chirurgischen Eingriffen : Gemeinsame Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie und der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin. *Der Anaesthetist*, S. 25–39.

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Dynamische und statische Lungenfunktionsparameter der Ruhespirometrie und forcierten Spirometrie.	7
Abb. 2 Flussvolumenkurven eines forcierten Expirationsversuchs und ihre Reproduzierbarkeit.	8
Abb. 3 Fehlerzeichen der Flussvolumenkurve bei inadäquater Durchführung eines forcierten Expirationsversuchs.	9
Abb. 4 Flussvolumenkurven eines forcierten Expirationsversuches mit Darstellung einer obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörung.	10
Abb. 5 Kontinuierliche Messung der Gaskonzentrationen bei einer Diffusionskapazitätstestung	13
Abb. 6 Flussvolumenkurve eines Studienteilnehmers	20
Abb. 7 Diffusionskapazitätsmessung eines Studienteilnehmers	21
Abb. 8 Flussdiagramm zum Studieneinschluss und zu durchgeführten Lungenfunktionstests. ..	25
Abb. 9 Flussdiagramm zu Studieneinschluss und -ausschluss unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien.	27
Abb. 10 Flussdiagramm zur Auswertung der Lungenfunktionstests anhand ihrer Qualitätsgrade.	28
Abb. 11 Schweregrade der obstruktiven Ventilationsstörungen aller untersuchten Patienten....	30
Abb. 12 Schweregrade der obstruktiven Ventilationsstörungen bei zuvor bekannter und unbekannter Lungenerkrankung	31
Abb. 13 Schweregrade der Diffusionseinschränkungen aller untersuchten Patienten	31
Abb. 14 Schweregrade der beeinträchtigten Diffusion bei zuvor bekannter und unbekannter Lungenerkrankung	32
Abb. 15 Histogramme der Z-Scores der untersuchten Lungenparameter	33
Abb. 16 Boxplots der untersuchten Lungenparameter mit metabolischen Äquivalenten	35
Abb. 17 Boxplots der untersuchten Lungenparameter mit ASA-Gruppen.....	37
Abb. 18 Boxplots der untersuchten Lungenparameter mit Raucherstatus	39
Abb. 19 Streudiagramm der untersuchten Lungenparameter in Bezug auf den BMI	40

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 ASA-Klassifikation zur Beurteilung des Allgemeinzustandes und der Vorerkrankungen eines Patienten.....	3
Tab. 2 Klassifikation des Body-Mass-Index gemäß Weltgesundheitsorganisation	16
Tab. 3 Qualitätsgrade für den forcierten Expirationsversuch	21
Tab. 4 Qualitätsgrade für die Testung der Diffusionskapazität	22
Tab. 5 Schweregradeinteilung obstruktiver Ventilationsstörungen	23
Tab. 6 Schweregradeinteilung bei eingeschränkter Diffusionskapazität.....	23
Tab. 7 Demografische und klinische Daten.....	29
Tab. 8 Mittelwerte und Standardabweichungen der Z-Scores	34

9 Anhang

9.1 Code zur Berechnung der Statistik mit dem Programm IBM® SPSS® Statistics

Mithilfe der Rohdaten der Promotion und des unten stehenden Codes, welchen man in das IBM® SPSS® Statistics einpflegen kann, lassen sich alle statistischen Berechnungen dieser Promotion nachrechnen und nachvollziehen.

* Encoding: UTF-8.

* Lungenfunktionstestung bei präoperativen Risikopatienten

```
GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='C:\Users\auror\Documents\Promotion\SPSS.xlsx'
  /SHEET=name 'SPSS'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME DataSet1 WINDOW=FRONT.
```

*Deskriptive Statistik

```
DATASET ACTIVATE DataSet1.
DESCRIPTIVES VARIABLES=Height Weight BMI Age packyears
  /STATISTICS=MEAN STDDEV MIN MAX.
```

```
RECODE Gender ('Male'=0) ('Female'=1) INTO Geschlecht.
EXECUTE.
```

```
FREQUENCIES VARIABLES=ASA Geschlecht MET
  /ORDER=ANALYSIS.
```

```
RECODE Smoker ('No'=0) ('Former'=1) ('Yes'=2) INTO Raucherstatus.
EXECUTE.
```

```
FREQUENCIES VARIABLES=Raucherstatus
  /ORDER=ANALYSIS.
```

```
RECODE Lungenerkrankungbekannt ('nicht bekannt'=0) ('bekannt'=1) INTO Lungenerkrankung.
EXECUTE.
```

```
FREQUENCIES VARIABLES=Lungenerkrankung
  /ORDER=ANALYSIS.
```

```
DESCRIPTIVES VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore
  /STATISTICS=MEAN STDDEV MIN MAX.
```

*DLCO Filter

```
USE ALL.
```

```
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

```
DESCRIPTIVES VARIABLES=DLCO_Zscore
/STATISTICS=MEAN STDDEV MIN MAX.
```

Filter OFF

*Streudiagramme zur Plausibilitätskontrolle

```
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=Height WITH Weight
/MISSING=LISTWISE.
```

```
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=Height WITH BMI
/MISSING=LISTWISE.
```

```
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=Height WITH FVC_Zscore
/MISSING=LISTWISE.
```

```
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=Height WITH FEV1_Zscore
/MISSING=LISTWISE.
```

```
USE ALL.
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

```
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=Height WITH DLCO_Zscore
/MISSING=LISTWISE.
```

Filter off

* Histogramme der Z-Scores

```
FREQUENCIES VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore
/FORMAT=NOTABLE
/HISTOGRAM NORMAL
/ORDER=ANALYSIS.
```

USE ALL.

```
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

```
FREQUENCIES VARIABLES=DLCO_Zscore
/FORMAT=NOTABLE
/HISTOGRAM NORMAL
/ORDER=ANALYSIS.
```

Filter OFF

* Einstichproben- t-Test der Z-Scores

```
T-TEST
/TESTVAL=0
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore
/ES DISPLAY(TRUE)
/CRITERIA=CI(.95).
```

```
USE ALL.
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

```
T-TEST
/TESTVAL=0
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=DLCO_Zscore
/ES DISPLAY(TRUE)
/CRITERIA=CI(.95).
```

Filter OFF

*Zweistichproben- t-Test mit MET und Z -Scores

```
T-TEST GROUPS=MET('3' '4')
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore
/ES DISPLAY(TRUE)
/CRITERIA=CI(.95).
```

*Boxplot MET und FVC und FEV1 Z -Scores

```
EXAMINE VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore BY MET
/PLOT=BOXPLOT
```

```
/STATISTICS=NONE  
/NOTOTAL.
```

```
USE ALL.  
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").  
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.  
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.  
FORMATS filter_$ (f1.0).  
FILTER BY filter_$.  
EXECUTE.
```

```
T-TEST GROUPS=MET('3' '4')  
/MISSING=ANALYSIS  
/VARIABLES=DLCO_Zscore  
/ES DISPLAY(TRUE)  
/CRITERIA=CI(.95).
```

*Boxplot MET und DLCO Z- Score

```
EXAMINE VARIABLES=DLCO_Zscore BY MET  
/PLOT=BOXPLOT  
/STATISTICS=NONE  
/NOTOTAL.
```

Filter off

*ASA Klassen Balkendiagramm

```
FREQUENCIES VARIABLES=ASA  
/FORMAT=NOTABLE  
/BARCHART FREQ  
/ORDER=ANALYSIS.
```

* Diagrammerstellung.

```
GGRAPH  
/GRAPHDATASET NAME="graphdataset" VARIABLES=ASA MISSING=LISTWISE  
REPORTMISSING=NO  
/GRAPHSPEC SOURCE=INLINE  
/FITLINE TOTAL=NO.  
BEGIN GPL  
SOURCE: s=userSource(id("graphdataset"))  
DATA: ASA=col(source(s), name("ASA"), unit.category())  
COORD: rect(dim(1))  
GUIDE: axis(dim(1), label("ASA"))  
GUIDE: text.title(label("Punktsäulen von ASA"))  
ELEMENT: point.dodge.asymmetric(position(bin.dot(ASA)))  
END GPL.
```

*ASA in zwei Gruppen dichotomisieren

```
RECODE ASA (1=1) (2=1) (3=2) (4=2) INTO ASAdichotomisiert.  
EXECUTE.
```

*Zweistichproben-t-Test mit dichotomisierten ASA Gruppen

```
T-TEST GROUPS=ASAdichotomisiert(1 2)
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore
/ES DISPLAY(TRUE)
/CRITERIA=CI(.95).
```

*ASA dichotomisiert Boxplot

```
EXAMINE VARIABLES=FVC_Zscore FEV1_Zscore BY ASAdichotomisiert
/PLOT=BOXPLOT
/STATISTICS=NONE
/NOTOTAL.
```

```
USE ALL.
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

```
T-TEST GROUPS=ASAdichotomisiert(1 2)
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=DLCO_Zscore
/ES DISPLAY(TRUE)
/CRITERIA=CI(.95).
```

*Boxplot DLCO ASA dichotomisiert

```
EXAMINE VARIABLES=DLCO_Zscore BY ASAdichotomisiert
/PLOT=BOXPLOT
/STATISTICS=NONE
/NOTOTAL.
```

Filter off

*Raucherstatus umcodieren

```
RECODE Smoker ('No'=0) ('Former'=1) ('Yes'=2) INTO Raucherstatus.
EXECUTE.
```

*Einfaktorielle Varianzanalyse nach Raucherstatus

```
ONEWAY FVC_Zscore BY Raucherstatus
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/CRITERIA=CILEVEL(0.95).
```

```
EXAMINE VARIABLES=FVC_Zscore BY Raucherstatus
/PLOT=BOXPLOT
/STATISTICS=NONE
/NOTOTAL.
```

```
ONEWAY FEV1_Zscore BY Raucherstatus
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/CRITERIA=CILEVEL(0.95).
```

```
EXAMINE VARIABLES=FEV1_Zscore BY Raucherstatus
/PLOT=BOXPLOT
/STATISTICS=NONE
/NOTOTAL.
```

```
USE ALL.
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

```
ONEWAY DLCO_Zscore BY Raucherstatus
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/CRITERIA=CILEVEL(0.95).
```

```
EXAMINE VARIABLES=DLCO_Zscore BY Raucherstatus
/PLOT=BOXPLOT
/STATISTICS=NONE
/NOTOTAL.
```

Filter off

*BMI Filter

```
DATASET ACTIVATE DataSet1.
USE ALL.
COMPUTE filter_$=(BMI >= 18.5 & BMI < 45).
VARIABLE LABELS filter_$ 'BMI >= 18.5 & BMI < 45 (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.
```

*Streudiagramme mit Regressionsgerade und lineare Regressionen mit BMI und Z-Scores

GGRAPH

```

/GRAPHDATASET NAME="graphdataset" VARIABLES=BMI FVC_Zscore MISSING=LISTWISE
REPORTMISSING=NO
/GRAPHSPEC SOURCE=INLINE
/FITLINE TOTAL=YES SUBGROUP=NO.
BEGIN GPL
SOURCE: s=userSource(id("graphdataset"))
DATA: BMI=col(source(s), name("BMI"))
DATA: FVC_Zscore=col(source(s), name("FVC_Zscore"))
GUIDE: axis(dim(1), label("BMI"))
GUIDE: axis(dim(2), label("FVC_Zscore"))
GUIDE: text.title(label("Streudiagramm von FVC_Zscore Schritt: BMI"))
ELEMENT: point(position(BMI*FVC_Zscore))
END GPL.

```

```

REGRESSION
/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT FVC_Zscore
/METHOD=ENTER BMI.

```

```

GGRAPH
/GRAPHDATASET NAME="graphdataset" VARIABLES=BMI FEV1_Zscore MISSING=LISTWISE
REPORTMISSING=NO
/GRAPHSPEC SOURCE=INLINE
/FITLINE TOTAL=YES SUBGROUP=NO.
BEGIN GPL
SOURCE: s=userSource(id("graphdataset"))
DATA: BMI=col(source(s), name("BMI"))
DATA: FEV1_Zscore=col(source(s), name("FEV1_Zscore"))
GUIDE: axis(dim(1), label("BMI"))
GUIDE: axis(dim(2), label("FEV1_Zscore"))
GUIDE: text.title(label("Streudiagramm von FEV1_Zscore Schritt: BMI"))
ELEMENT: point(position(BMI*FEV1_Zscore))
END GPL.

```

```

REGRESSION
/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT FEV1_Zscore
/METHOD=ENTER BMI.

```

Filter off

*DLCO und BMI Filter

USE ALL.

```

COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar" & BMI >= 18.5 & BMI < 45).
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" & BMI >= 18.5 (FILTER)'.
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.
FORMATS filter_$ (f1.0).
FILTER BY filter_$.
EXECUTE.

```

```

GGGRAPH
  /GRAPHDATASET NAME="graphdataset" VARIABLES=BMI DLCO_Zscore
MISSING=LISTWISE REPORTMISSING=NO
  /GRAPHSPEC SOURCE=INLINE
  /FITLINE TOTAL=YES SUBGROUP=NO.
BEGIN GPL
  SOURCE: s=userSource(id("graphdataset"))
  DATA: BMI=col(source(s), name("BMI"))
  DATA: DLCO_Zscore=col(source(s), name("DLCO_Zscore"))
  GUIDE: axis(dim(1), label("BMI"))
  GUIDE: axis(dim(2), label("DLCO_Zscore"))
  GUIDE: text.title(label("Streudiagramm von DLCO_Zscore Schritt: BMI"))
  ELEMENT: point(position(BMI*DLCO_Zscore))
END GPL.

```

```

REGRESSION
  /DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT DLCO_Zscore
  /METHOD=ENTER BMI.

```

Filter off

*Lungenerkrankung bekannt umcodieren

```

RECODE Lungenerkrankungbekannt ('nicht bekannt'=0) ('bekannt'=1) INTO Lungenerkrankung.
EXECUTE.

```

*MET umcodieren

```

RECODE MET ('3'=0) ('4'=1) INTO METi.
EXECUTE.

```

*Multiple lineare Regression mit Rückwärtsselektion mit METi ASA Packyears BMI Lungenerkrankung

```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT FVC_Zscore

```

```
/METHOD=BACKWARD METi ASA BMI Lungenerkrankung packyears.
```

```
REGRESSION
```

```
/MISSING LISTWISE
```

```
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE
```

```
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
```

```
/NOORIGIN
```

```
/DEPENDENT FEV1_Zscore
```

```
/METHOD=BACKWARD METi ASA BMI Lungenerkrankung packyears.
```

```
USE ALL.
```

```
COMPUTE filter_$=(DLCO_auswertbar = "auswertbar").
```

```
VARIABLE LABELS filter_$ 'DLCO_auswertbar = "auswertbar" (FILTER)'.  
VALUE LABELS filter_$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.  
FORMATS filter_$ (f1.0).  
FILTER BY filter_$.  
EXECUTE.
```

```
REGRESSION
```

```
/MISSING LISTWISE
```

```
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE
```

```
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
```

```
/NOORIGIN
```

```
/DEPENDENT DLCO_Zscore
```

```
/METHOD=BACKWARD METi ASA BMI Lungenerkrankung packyears.
```

```
Filter off
```

9.2 Abbildungsgenehmigungen

9.2.1 Abbildungsgenehmigung der Deutschen Atemwegsliga

12.12.23, 12:07

WEB.DE - AW: Abbildungsgenehmigung



FreeMail

AW: Abbildungsgenehmigung

Von: "Deutsche Atemwegsliga Kontakt" <kontakt@atemwegsliga.de>
An: "Natalia Urbaniak" <urbaniak.natalia@web.de>
Datum: 04.08.2022 11:23:52

Sehr geehrte Frau Urbaniak,

auf unserer Homepage https://www.atemwegsliga.de/tl_files/eigene-dateien/empfehlungen/2015-Spirometrie-Abbildungen.pdf sind Abbildungen zur Spirometrie-Leitlinie hinterlegt, die Sie mit Angabe der Quelle nutzen können.

Mit freundlichem Gruß

Annegret Schmidtke

Deutsche Atemwegsliga e.V. | Raiffelsenstr. 38 | 33175 Bad Lippspringe

Tel: 0 52 52 / 93 36 15 | Fax: 0 52 52 / 93 36 16



Von: Natalia Urbaniak <urbaniak.natalia@web.de>
Gesendet: Donnerstag, 4. August 2022 09:28
An: kontakt@atemwegsliga.de
Betreff: Abbildungsgenehmigung

Liebes Team der Deutschen Atemwegsliga,

ich bin Medizinstudentin an der Universität zu Kiel und schreibe momentan meine Promotion zum Thema Lungenfunktionsdiagnostik. Hierzu würde ich sehr gerne einige Ihrer Abbildungen aus der Spirometrie Leitlinie 020-017 verwenden. Dafür bitte ich Sie um Erlaubnis diese in meiner Arbeit unter Referenz auf Ihre Leitlinie darstellen zu dürfen. Im Anhang finden Sie die Leitlinie, auf welche ich mich beziehe. Sollten Sie hierfür nicht der richtige Ansprechpartner sein, würde ich mich sehr

freuen, wenn Sie mir mitteilen können, an wen ich mich wenden sollte.

Vielen Dank und beste Grüße,

Natalia Urbaniak

Dateianhänge

- image001.png
- image002.png
- image003.png
- image004.png
- image005.png

9.2.2 Abbildungsgenehmigung der European Respiratory Society

28.05.23, 15:17

E-Mail – Natalia.Urbaniak@uksh.de

RE: Paper

European Respiratory Society Permissions <permissions@ersnet.org>

Do 04.08.2022 09:58

An:Urbaniak, Natalia <Natalia.Urbaniak@uksh.de>;

Achtung, externe Mail!

Dear Natalia,

Thank you for your permission enquiry.

European Respiratory Society hereby grants you permission to reproduce the material as requested for your dissertation/thesis (print and digital) and full acknowledgement must be given.

2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung

Brian L. Graham, Vito Brusasco, Felip Burgos, Brendan G. Cooper, Robert Jensen, Adrian Kendrick, Neil R. MacIntyre, Bruce R. Thompson, Jack Wanger

European Respiratory Journal 49 (1) 1600016; DOI: 10.1183/13993003.00016-2016 Published 3 January 2017

Material: Figure 4

Disclaimer Acknowledgement: Reproduced with permission of the ©ERS 2022. European Respiratory Journal 49 (1) 1600016; DOI: 10.1183/13993003.00016-2016 Published 3 January 2017

Copyright remains with © ERS 2022. These publications are copyrighted material and must not be copied, reproduced, transferred, distributed, leased, licensed, placed in a storage retrieval system or publicly performed or used in any way except as specifically permitted in writing by the publishers (European Respiratory Society), as allowed under the terms and conditions of which it was purchased or as strictly permitted by applicable copyright law. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given. Altering/Modifying Material: This is not permitted, however figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Please be aware that the permission fee for the requested use of this material is waived in this instance but please be advised that your future requests for materials may attract a fee. This agreement is personal to you and may not be sublicense, assigned or transferred by you to any other person without our written permission. Any unauthorised distribution or use of this text may be a direct infringement of the publisher's rights and those responsible may be liable in law accordingly

"Green" open access and author archiving (where applicable)

Authors who do not wish to pay for their article to be published open access in the *ERJ* will still have their manuscripts made free to access via the *ERJ* online archive following the journal's 18-month embargo period. Authors also have licence to make their manuscripts available in an institutional (or similar) repository for public archiving, 12 months after final publication, provided the following requirements are met:

1) The final, peer-reviewed, author-submitted version that was accepted for publication is used (before copy-editing and publication).

2) A permanent link is provided to the version of the article published in the *ERJ*, through the dx.doi.org platform. For example, if your manuscript has the DOI 10.1183/13993003.06543-2018, then the link you provide must be <https://doi.org/10.1183/13993003.06543-2018>

3) The repository on which the manuscript is deposited is not used for systematic distribution or commercial sales purposes.

4) The following required archiving statement appears on the title page of the archived manuscript: "This is an author-submitted, peer-reviewed version of a manuscript that has been accepted for publication in the European Respiratory Journal, prior to copy-editing, formatting and typesetting. This version of the manuscript may not be duplicated or reproduced without prior permission from the copyright owner, the European Respiratory Society. The publisher is not responsible or liable for any errors or omissions in this version of the manuscript or in any version derived from it by any other parties. The final, copy-edited, published article, which is the version of record, is available without a subscription 18 months after the date of issue publication."

For manuscripts with Europe PMC funding (<https://europepmc.org/Funders/>), the author retains the right to provide a copy of the final, peer-reviewed author-supplied manuscript (before copy-editing and publication) for public archiving in compliance with the requirements of the funder, i.e. 6 months after final publication for authors with funding from Europe PubMed Central Funders Group members.

For articles with Coalition S funding (<https://www.coalition-s.org/organisations/>), the author retains the right to archive the peer-reviewed author-submitted manuscript (before copy-editing and publication) under a CC-BY licence without embargo.

If your research body or employer mandates an access or archiving model that is not addressed above, please contact journals@ersnet.org

Kind regards,

Kay



Kay Sharpe
European Respiratory Society Permissions Editor
D +44 114 267 28 61
ERS 442 Glossop Road Sheffield S10 2PX United Kingdom
Central T +44 114 267 28 60 F +44 114 266 50 64 W ersnet.org

Note: I am only working 6-7 hours per day on a phased medical return and please be aware that processing requests could take between 3-5 days



The ABSTRACTS from the ERS Virtual Congress from 2021 are now available at:

https://erj.ersjournals.com/content/58/suppl_65

In keeping with current recommendations relating to COVID-19, our offices in Lausanne, Brussels and Sheffield are now all closed as a precautionary measure. ERS and ELF staff will continue to work from home where possible

From: Natalia.Urbaniak@uksh.de <Natalia.Urbaniak@uksh.de>
Sent: 04 August 2022 08:00
To: European Respiratory Society Permissions <permissions@ersnet.org>
Subject: Paper

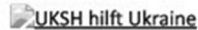
Dear members of the European Respiratory Society,

I'm a medical student at the University of Kiel (Germany) and am currently working on my dissertation. For the thesis I would like to use parts of one of the figures from your paper (figure 4).

Do I have your permission to use the figure in my thesis and refer to it as originating from your paper? I attached the document I'm referring to.

Thank you and best regards,

Natalia Urbaniak



Unterstützung für die Ukraine. UKSH richtet Spendenkonto ein.

Spendenkonto: Empfänger: UKSH WsG e.V. | IBAN: DE75 2105 0170 1400 1352 22 | BIC: NOLADE21KIE

Angabe bei Überweisung: FW14042: UKSH hilft Ukraine

Oder: [Spenden per PayPal](#)

Weitere Infos: <https://www.uksh.de/ukrainehilfe.html>



Universitätsklinikum Schleswig-Holstein

Rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und der Universität zu Lübeck

Vorstandsmitglieder: Prof. Dr. Dr. h.c. Jens Scholz (Vorsitzender/CEO), Peter Pansegrau (CFO), Corinna Jendges (COO), Prof. Dr. Thomas Münte, Prof. Dr. Joachim Thiery

Vorsitzender des Aufsichtsrates: Guido Wendt

Bankverbindungen:

Förde Sparkasse IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06 SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE

Commerzbank AG IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00 SWIFT/BIC: DRES DE FF 230

Gemeinsam Gutes tun! Spenden: Alle UKSH-Spendenmöglichkeiten unter www.uksh.de/gutes-tun

Spendenkonto: Förde Sparkasse IBAN: DE75 2105 0170 1400 1352 22 | BIC: NOLADE21KIE | Empfänger: UKSH WsG e.V.

Diese E-Mail enthält vertrauliche Informationen und ist nur für die Personen bestimmt, an welche sie gerichtet ist.

Sollten Sie nicht der bestimmungsgemäße Empfänger sein, bitten wir Sie, uns hiervon unverzüglich zu unterrichten und die E-Mail zu vernichten.

Wir weisen darauf hin, dass der Gebrauch und die Weiterleitung einer nicht bestimmungsgemäß empfangenen E-Mail und ihres Inhalts gesetzlich verboten sind und ggf. Schadensersatzansprüche auslösen können.

10 Danksagung

Es gibt einige Menschen, ohne die diese Promotion niemals geschrieben worden wäre. Zuallererst gilt mein Dank meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. Dirk Schädler, welcher mich mit positiver Wertschätzung stetig vorantrieb. Mein Dank gilt meiner Betreuerin, Dr. med. Christine Eimer, welche mir über den gesamten Entstehungsprozess der Promotion mit Rat und Tat zur Seite stand. Ich bedanke mich bei Frau Prof. Dr. med. Inéz Frerichs, die mir die Grundzüge der Lungenfunktion erklärte, so manch eine technische Panne am Lungenfunktionsgerät mit ausbadete und diese Promotion mit Korrektur las. Ich bedanke mich bei Frau Prof. Dr. rer. physiol. Astrid Dempfle mit welcher statistische Fachdiskussionen nicht nur erträglich, sondern verständlich und befriedigend wurden. Ihr statistischer Beitrag hat diese Promotion erleuchtet. Mein Dank gilt Frau Elisabeth Fösel-Harbs für ihre tatkräftige, moralische und streitschlichtende Mitwirkung in der Prämedikationsambulanz, meinen Eltern und Großeltern, die mich immer bestärkt und wo immer sie konnten, unterstützt haben. Mein ganz besonderer Dank geht an meinen Bruder und an drei meiner Freunde: Felix Gröner, Dr. rer. nat. Martin Kruse und Lea Michaelis. Ohne Martins Informatikerkenntnisse hätte ich niemals Daten gehabt, mit denen ich hätte arbeiten können. Ohne Felix und seine Excelkenntnisse wäre ich in der darauffolgenden Datenflut ertrunken. Ohne Lea und ihren festen Glauben an meine Fähigkeiten, hätte ich diese Promotion niemals beendet. Ohne meinen Bruder, Pawel Urbaniak, der meine Gedankengänge sortierte, bremste und überprüfte, hätte ich meine eigenen Berechnungen nicht verstanden. Diesen Vieren möchte ich aus tiefstem Herzen danken.

RESEARCH

Open Access

Pulmonary function testing in preoperative high-risk patients



Christine Eimer^{1*†}, Natalia Urbaniak^{1†}, Astrid Dempfle^{1,2}, Tobias Becher¹, Dirk Schädler¹, Norbert Weiler¹ and Inéz Frerichs¹

Abstract

Background Postoperative respiratory failure is the most frequent complication in postsurgical patients. The purpose of this study is to assess whether pulmonary function testing in high-risk patients during preoperative assessment detects previously unknown respiratory impairments which may influence patient outcomes.

Methods A targeted patient screening by spirometry and the measurement of the diffusing capacity of the lung for carbon monoxide (D_{LCO}) was implemented in the anesthesia department of a tertiary university hospital. Patients of all surgical disciplines who were at least 75 years old or exhibited reduced exercise tolerance with the metabolic equivalent of task less than four ($MET < 4$) were examined. Clinical characteristics, history of lung diseases, and smoking status were also recorded. The statistical analysis entailed *t*-tests, one-way ANOVA, and multiple linear regression with backward elimination for group comparisons.

Results Among 256 included patients, 230 fulfilled the test quality criteria. Eighty-one (35.2%) patients presented obstructive ventilatory disorders, out of which 65 were previously unknown. 38 of the newly diagnosed obstructive disorders were mild, 18 moderate, and 9 severe. One hundred forty-five D_{LCO} measurements revealed 40 (27.6%) previously unknown gas exchange impairments; 21 were mild, 17 moderate, and 2 severe. The pulmonary function parameters of forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in 1 s (FEV_1), and D_{LCO} were significantly lower than the international reference values of a healthy population. Patients with a lower ASA class and no history of smoking exhibited higher FVC, FEV_1 , and D_{LCO} values. Reduced exercise tolerance with $MET < 4$ was strongly associated with lower spirometry values.

Conclusions Our screening program detected a relevant number of patients with previously unknown obstructive ventilatory disorders and impaired pulmonary gas exchange. This newly discovered sickness is associated with low metabolic equivalents and may influence perioperative outcomes. Whether optimized management of patients with previously unknown impaired lung function leads to a better outcome should be evaluated in multicenter studies.

Trial registration German Registry of Clinical Studies (DRKS00029337), registered on: June 22nd, 2022.

Keywords Spirometry, Airflow obstruction, D_{LCO} , Preoperative screening, Patient safety, Intensive care medicine, Postoperative pulmonary complications, Postoperative respiratory failure, Targeted screening program, Pulmonary gas exchange

[†]Christine Eimer and Natalia Urbaniak shared first authorship.

*Correspondence:

Christine Eimer
christine.eimer@uksh.de

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2024. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Background

The most common anesthesia-related complications involve the cardiovascular and the respiratory systems, making it particularly important to assess patient risk specifically in relation to these organ systems. Postoperative respiratory failure (PRF) frequently occurs in post-surgical patients (Canet and Gallart 2014; Mills 2018). PRF is associated with increased hospital length of stay, increased healthcare costs, higher morbidity, and mortality (David et al. 2017; Zettervall et al. 2017; Bostock et al. 2018). The incidence of PRF varies from 0.2 to 4.2% (Canet and Gallart 2014; Canet et al. 2015), with even higher rates in cardiac surgery of 2.6–8.0% (Thanavaro et al. 2020; Liu et al. 2018; Shoji et al. 2017; García-Delgado et al. 2012). Recognition and prevention of postoperative pulmonary complications (PPC) is an important research priority in intensive care medicine (Gillies et al. 2017).

The pathogenesis of respiratory failure depends on different aspects, such as patient status, type of anesthesia, and surgical procedures (Canet and Gallart 2014; Mills 2018). Improving patient safety has been a focus of clinical care ever since, therefore the goal of risk evaluation is to detect previously unknown or inadequately treated diseases that could be of significance for the anesthesia or surgical procedure or postoperative care. In recent years, numerous studies have been conducted with the aim of identifying factors promoting PPC. Among those ASA class > 3, emergency or high-risk surgery, type of surgery, functional status, heart failure or chronic pulmonary disease, obesity, and older age were identified as risk factors for pulmonary complications (Attaallah et al. 2019; Brueckmann et al. 2013; Gupta et al. 2013).

The preoperative evaluation of the lungs and airways serves to diagnose previously unknown lung function impairments. Pulmonary function testing can be used to quantitatively assess lung function and to specify the different forms of lung diseases (Bernstein 2012). The purpose of this study was to assess whether pulmonary function testing in preoperative high-risk patients identified patients with previously unknown relevant pulmonary function deterioration.

Methods

This monocentric, prospective observational study was conducted in the Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine at the University Medical Centre Schleswig–Holstein, Campus Kiel after prior approval by the Ethics Committee of the Medical Faculty of the Kiel University (D580/20). The study was registered in the German Clinical Trials Register (DRKS) (DRKS00029337). Patients were informed

verbally, participation was voluntary, and written consent was not required. Patients of all surgical disciplines with an age ≥ 75 years or an exercise capacity below four metabolic equivalents of task (MET) were included in the study. Exclusion criteria were a lack of consent, age < 18 years or inability to complete the study due to cognitive or physical disabilities, or available prior spirometry performed less than 3 months ago (Fig. 1). Spirometry parameters (FVC: Forced vital capacity, FEV₁: Forced expiratory volume in one second) and diffusing capacity of the lung for carbon monoxide (D_{LCO}) were used to examine the lung function (EasyOne Pro, nidd, Zurich, Switzerland). Age, sex, body height and weight, smoking status, ASA classification, exercise capacity in METs, and known pulmonary diseases were recorded (Table 1). Spirometric parameters were used to diagnose obstructive ventilatory disorders and pulmonary gas exchange impairments and were categorized into severity levels according to the European Respiratory Society/American Thoracic Society (ERS/ATS) standards (Stanojevic et al. 2022). The severity grade of ventilatory obstruction was categorized as grades I, II, and III with > 60%, 40–60%, and < 40% of the FEV₁% predicted. The severity of decrease in diffusing capacity for carbon monoxide was categorized as grade I, II, and III with > 60% and < 80%, 40–60%, and < 40% of the DLCO% predicted. Furthermore, the Global Lung Function Initiative (GLI) 2012 reference values were applied and Z-scores for each parameter calculated (Quanjer et al. 2012). FVC or FEV₁ Z-score < −1.645 (corresponding to the 5th population percentile) was defined as impaired lung function and a D_{LCO} Z-score < −1.645 was also defined as impaired diffusing capacity. Patient-related data was anonymized after data collection to ensure data protection.

Spirometry

The spirometry measurements were conducted with a nose clip, the patient was asked to breathe in through the open mouth as deeply as possible and to breathe out as forcefully as possible through the mouthpiece of the spirometer. This procedure was conducted at least twice. Only lung function tests with a quality grade A–D were included in the study. For the D_{LCO} measurement patients were asked to breathe normally, to exhale completely, and then to take a deep breath. During the deep inspiration, a test gas (9.34% helium, 0–269% carbon monoxide, 19.11% oxygen and 71.281% nitrogen) was added. After holding the breath for approximately 10 s the patient breathed out and the exhaled gas was analyzed. The examination was repeated once if it did not meet the quality criteria (Stanojevic et al. 2022).

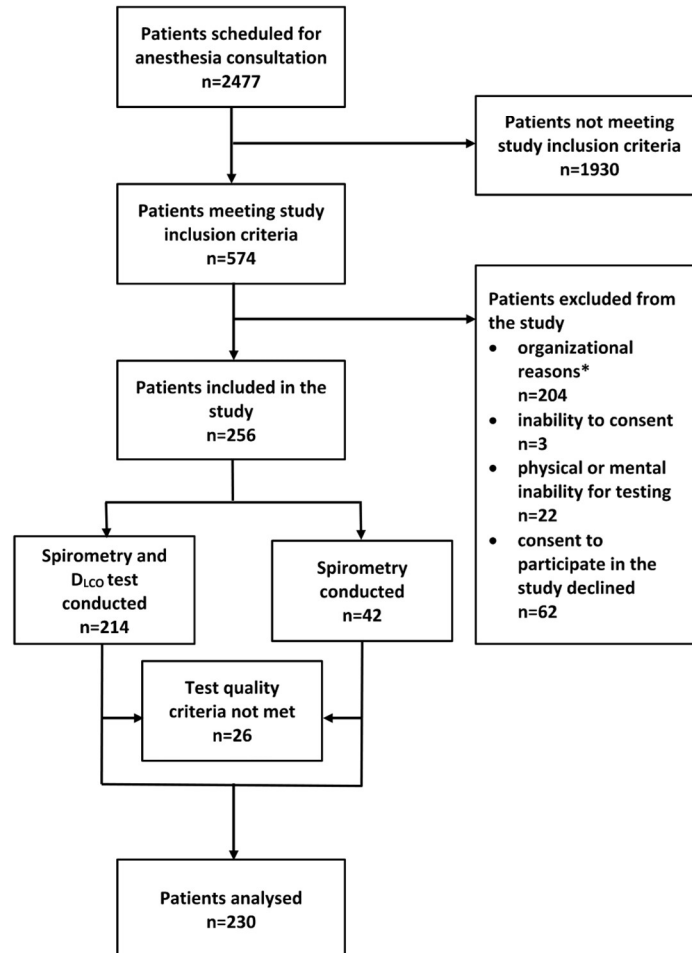


Fig. 1 Study inclusion flow chart. Legend: *Prior lung function testing less than 3 months ago $n=25$, canceled operative procedure $n=27$, patient consulting the anesthesia out-patient clinic for the second time within the study period $n=23$, anesthesia consultation not held in out-patient clinic $n=13$, time shortage $n=86$, missing devices for the spirometer $n=30$

Statistical analysis

To investigate whether lung function in a high-risk clinical sample differs from the general healthy population, one-sample t -tests on Z -scores for FVC, FEV₁, and D_{LCO} were performed. FVC, FEV₁, and D_{LCO} Z -scores were compared between patients with MET < 4 vs MET ≥ 4 using two-sample t -tests. To analyze the association between ASA classification and lung function, ASA

classes were combined (ASA 1–2; ASA 3–4) and compared regarding FVC, FEV₁, and D_{LCO} Z -scores using two-sample t -tests. To investigate the influence of smoking status on lung function, subjects were categorized as “never smokers” (NS) “former smokers” (FS), and “current smokers” (CS) and one-way ANOVAs on FVC, FEV₁, and D_{LCO} Z -scores were computed. The association between body mass index (BMI) and FVC, FEV₁, and

Table 1 Demographic and clinical characteristics

	Total number n or mean \pm SD
Patients	230
Female	107 (46.5%)
Male	123 (53.5%)
Age, years	75 \pm 11 (min. 24, max. 90)
Height, cm	170 \pm 8
Weight, kg	78 \pm 19
BMI, kg/m ²	27 \pm 6
Normal weight: BMI 18.5–24.9 (kg/m ²)	88 (38.3%)
Overweight: BMI 25–29.9 (kg/m ²)	86 (37.4%)
Obesity: \geq 30 (kg/m ²)	50 (21.7%)
Underweight: BMI < 18.5 (kg/m ²)	6 (2.6%)
MET < 4	101 (43.9%)
MET \geq 4	129 (56.1%)
ASA 1	6 (2.6%)
ASA 2	91 (39.6%)
ASA 3	125 (54.3%)
ASA 4	8 (3.5%)
ASA 5	0
Packyears	16 \pm 22
Current smokers	44 (19.1%)
Former smokers	99 (43.0%)
Never smokers	87 (37.8%)
Known lung disease	28 (12.2%)

D_{LCO} Z-scores were analyzed using linear regression considering all patients with BMI between 18.5 kg/m² and 45 kg/m². To investigate which of the considered clinical characteristics had independent effects on lung function, multiple linear regression models with backward elimination were performed with the respective Z-scores as dependent variable, and metabolic equivalents (2 categories), BMI, ASA class, smoking (quantified in pack-years) and known lung disease as explanatory variables. Statistical analysis was performed using SPSS Statistics 29 Software, IBM (Armonk, NY, USA), and figures were created with GraphPad Software, Prism Version 9.3.1 (San Diego, USA).

Results

The detailed study inclusion and exclusion flowchart is presented in Fig. 1. Five hundred forty-seven patients met the study inclusion criteria. Pulmonary function testing was performed on 256 of the eligible study participants, among which 230 met pulmonary test quality criteria. Clinical characteristics are shown in Table 1. Two hundred fourteen patients underwent both, the spirometry examination and the D_{LCO} testing (Fig. 1). Forty-two patients completed only the forced full expiration

maneuver because of a temporary shortage of D_{LCO} filters.

Among 230 patients whose pulmonary function tests met the quality criteria, 81 (35.2%) had obstructive ventilatory disorders. Sixty-five of these identified obstructive disorders were previously unknown, 38 of them were mild, 18 moderate, and 9 were severe. Out of 145 analyzed D_{LCO} measurements, 40 (27.6%) revealed previously unknown pulmonary gas exchange impairments with 21 being mild, 17 moderate, and 2 severe. The selected Z-scores were significantly different from population norms (with expected mean equal to zero) with mean FVC Z-score of 1.05 (SD 1.19), mean FEV_1 Z-score of -1.22 (SD 1.29), and mean D_{LCO} Z-score of -1.24 (SD 1.21) (all $p < 0.001$, one sample t test). One hundred one of the patients had less than four metabolic equivalents and 129 had at least four metabolic equivalents. Two sample tests between the patient group of MET ≥ 4 and the group with MET < 4 showed significantly different results for the FVC ($p < 0.001$), FEV_1 ($p < 0.001$), and D_{LCO} ($p < 0.004$) Z-scores. The MET < 4 group exhibited significantly lower Z-scores than the MET ≥ 4 group (Fig. 2, Table 2). Two-sample t -tests between the two ASA groups showed significantly different means of the two groups for all three Z-scores (FVC $p < 0.001$, FEV_1 $p < 0.001$, D_{LCO} $p < 0.002$). Patients with a lower ASA classification had significantly better lung function (Fig. 3, Table 2). Twelve (5.2%) patients showed impaired lung function results, and 9 (18%) patients had pathological diffusing capacity despite MET ≥ 4 and ASA classification 1–2. Smoking imposed a significant effect on lung function parameters (FVC $p < 0.001$, FEV_1 $p < 0.001$, D_{LCO} $p = 0.019$) and Z-scores were the highest in the “never smoking” group and the lowest in the group of current smokers (Fig. 4, Table 2).

BMI showed a significant negative correlation with the FVC Z-score ($p < 0.001$), a slight however non-significant negative correlation with FEV_1 Z-score ($p = 0.189$), and a significant positive correlation with the D_{LCO} Z-score ($p = 0.002$) (Fig. 5).

Multiple linear regression with backward elimination indicates reduced exercise tolerance with MET < 4 and smoking history (quantified as the number of packyears) as significant variables in statistical models for all three Z-scores. ASA classification, known lung disease, and BMI were not significant for at least one of the Z-scores.

Discussion

The preoperative lung function screening of high-risk patients revealed a high number of previously unknown ventilatory obstructive disorders and pulmonary gas exchange impairments. Obstructive disorders were newly diagnosed in 28% of 230 analyzed study participants.

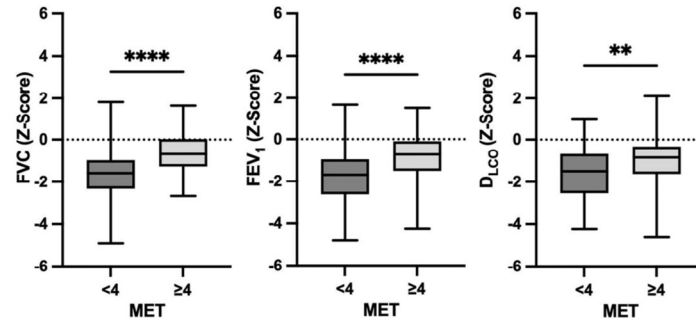


Fig. 2 Boxplots of lung function parameters in relation to metabolic equivalent of task (MET)

Table 2 Pulmonary function parameters in the studied patients

	FVC (mean \pm SD)	FEV ₁ (mean \pm SD)	D _{LCO} (mean \pm SD)
MET < 4	-1.58 \pm 1.28	-1.82 \pm 1.36	-1.57 \pm 1.28
MET \geq 4	-0.64 \pm 0.92	-0.75 \pm 1.00	-0.99 \pm 1.10
ASA 1–2	-0.52 \pm 1.13	-0.64 \pm 1.15	-0.88 \pm 0.93
ASA 3–4	-1.44 \pm 1.07	-1.65 \pm 1.21	-1.51 \pm 1.33
Never smokers	-0.62 \pm 1.15	-0.71 \pm 1.2	0.92 \pm 0.99
Former smokers	-1.25 \pm 1.13	-1.44 \pm 1.32	-1.42 \pm 1.38
Current smokers	-1.45 \pm 1.13	-1.74 \pm 1.02	-1.49 \pm 1.15

Abbreviations: FVC forced vital capacity, FEV₁ forced expiratory volume in 1 s, D_{LCO} diffusing capacity of the lung for carbon monoxide, MET metabolic equivalents of task, BMI body mass index

An equal proportion of 28% out of the 145 patients who underwent the D_{LCO} examination showed an impaired gas exchange. Lower Z-scores in both spirometry parameters and D_{LCO} were significantly associated with reduced exercise tolerance with MET < 4. A relevant proportion of

lung function measurements and DLCO measurements showed pathological results in patients with MET > 4 and ASA 1–2, who would not have been identified as at-risk patients based on MET and ASA classification alone. These results suggest that additional determination of lung function and DLCO may provide additional information in preoperative risk assessment.

The time required for pulmonary function testing (2–3 attempts) and the measurement of diffusion capacity (1–2 attempts) is approximately 15 min per patient. Regarding the daily feasibility of the examinations, the aim of this study was to define a specific patient cohort that would indeed benefit from a corresponding measurement.

PPC occur more frequently and results in greater costs than cardiovascular events (Brinson and Thornton 2018). Patients requiring unplanned postoperative ventilatory support have higher morbidity and mortality rates (Magor et al. 2022). Robitaille et al.

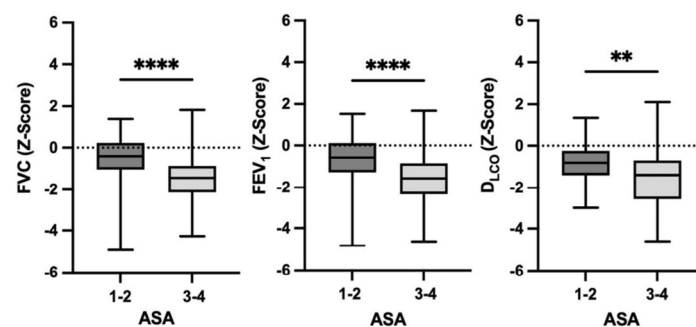


Fig. 3 Boxplots of lung function parameters in relation to ASA classification

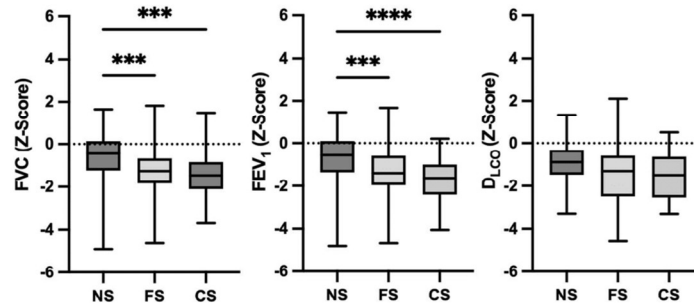


Fig. 4 Boxplots of lung parameters examined in relation to smoking status

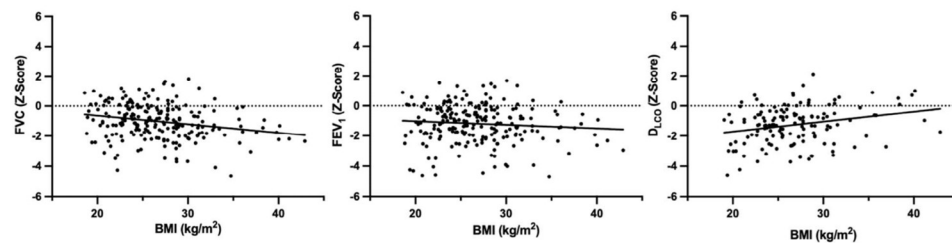


Fig. 5 Scatter plots of the lung parameters examined in relation to body mass index (BMI). Legend: Boxplots (Figs. 2, 3, and 4) show the distribution of lung function parameters in relation to MET, ASA, and smoking status. Whiskers show the minimum and maximum of the values, the horizontal line in the boxes represents the median. Stars represent the level of significance, whereas **** is equivalent to $p < 0.0001$ and ** is equivalent to $p < 0.01$. Scatter plots (Fig. 5) show the relationship between lung function parameters and BMI with regression lines indicating the overall trend of data. Correlation: FVC: $r = -0.2319$, $p = 0.001$; FEV₁: $r = -0.0886$, $p = 0.189$; D_{LCO}: $r = 0.2570$, $p = 0.002$. Abbreviations: FVC forced vital capacity; FEV₁ forced expiratory pressure in 1 s; D_{LCO} diffusing capacity of the lung for carbon monoxide; MET metabolic equivalents of task; NS never smoker; FS former smoker; CS current smoker; BMI body mass index

implemented a targeted screening program to detect airflow obstruction within a presurgical screening and found previously unknown obstructive disorders in 26% of all study participants (Robitaille et al. 2015). Spirometry examinations performed as part of a lung cancer screening program also detected a high prevalence of airflow obstruction in individuals without prior diagnosis of COPD (Balata et al. 2020). Similar to the present study, these results suggest the need for intensified preoperative screenings so that newly discovered sicknesses can be recognized and treated preoperatively. However, studies have shown different results regarding the usefulness of lung function testing to predict PPC. A Nigerian study conducted a pre-operative pulmonary assessment and found an abnormally low percentage of FEV₁ and FVC to be significantly associated with PPC (Ufoaroh et al. 2019). Another spirometry test before laparoscopy-assisted gastrectomy showed that preoperative spirometry is not reliable in predicting PPCs (Huh et al. 2013). Regarding operative procedures of the

aorta, spirometry results had a predictive value regarding mortality (Henn et al. 2016).

This study analyzed the lung parameters of patients from a wide range of operative procedures ranging from simple urologic procedures to very demanding cardiac surgery. Due to this heterogeneity, the lung function of many different patient groups could be examined. The heterogeneity of operative procedures, however, complicated the comparison of risk factors. The study population had a similar risk assessment regarding the status as a “high-risk patient” due to age or exercise capacity of less than four METs. The risk of developing PPCs, however, is also influenced by the different operative procedures (Canet et al. 2015). Thus, it should be investigated in further studies which patient group undergoing which operative procedures could benefit the most from preoperative spirometry testing with consideration of the individual patient outcome.

The examined patient population had a significantly poorer lung function in comparison to the

general population, which might be due to the specific risk selection of patients who need surgery and have less than four metabolic equivalents (Iden et al. 2019). Poor lung function may be clinically expected in patients with reduced exercise tolerance. However, low MET are not always the consequence of merely poor lung function. Lower Z-scores in both spirometry parameters and D_{LCO} were significantly associated with reduced exercise tolerance ($MET < 4$). In multiple linear regression, $MET < 4$ proved to be an independent risk factor for lower spirometry parameters regardless of ASA classification, BMI, history of smoking, and known pulmonary disease. Recent studies suggest a positive relationship between physical fitness and lung function (Bédard et al. 2020; Hancox and Rasmussen 2018; Farkhooy et al. 2018; Fuertes et al. 2018; Luzak et al. 2017) which seems to exist in both adults and children (Bédard et al. 2020; Hancox and Rasmussen 2018). Additionally, patients with lower MET scores seem to have more comorbidities (Zientara et al. 2021). The D_{LCO} testing describes the ability of the lung to exchange gases and can be reduced in several diseases of the lung (Weibel 2017). A low D_{LCO} is associated with pulmonary hypertension since it can be the first sign of the respective disease in patients with parenchymal lung disease (Zou et al. 2020). A meta-analysis suggests that D_{LCO} might be an important measurement for COPD patients in terms of severity, exacerbation risk, mortality, emphysema domination, and presence of pulmonary hypertension (Ni et al. 2021). Our study results presented 19 moderate to severe D_{LCO} reductions in allegedly lung-healthy patients. Therefore, 13% of our patients had a lung pathology possibly relevant to both the operative procedure itself and the postoperative outcome. The statistical analysis revealed a low D_{LCO} to be associated with a higher ASA classification and hence more comorbidities. The ASA classifications proved to be significantly associated with lung function parameters in our study. ASA 1–2 achieved higher values than ASA group 3–4. As the ASA classification system classifies patients according to their comorbidities, it seems plausible that a higher ASA classification is associated with a worse lung function (Böhmer et al. 2021; Horvath et al. 2021).

The influence of obesity on lung function parameters shows inconsistent results. There are studies demonstrating reduced FVC, FEV_1 , and D_{LCO} values in obese patients but there are also studies that do not find a significant association which, however, might be due to small sample sizes (Davidson et al. 2014; Mehari et al. 2015; Pekkarinen et al. 2012). The

decrease in FVC Z-score with higher BMI might be explained by a decrease in chest wall compliance due to higher intra-abdominal pressure (Bein 2018). The increase in D_{LCO} with BMI in our study is surprising and requires careful interpretation. Lung-healthy current and former smokers show increased regional ventilation heterogeneity during forced expiration as measured by electrical impedance tomography (Vogt et al. 2019). Our study results support those findings with significant differences in lung function parameters FVC, FEV_1 , and D_{LCO} between current smokers, former smokers, and never-smokers. Never-smokers had the best results regarding lung function and current smokers had the worst.

Limitations

Regarding the D_{LCO} measurement, we did not adjust for elevated carbon monoxide back-pressure in the blood which can be expected to occur in smoking patients. This may have led to a slight underestimation of D_{LCO} in these patients. Furthermore, we performed only one or two acceptable spirometry maneuvers and not three as suggested by the guidelines, which was due to the tight time scheduling of the patient appointments. In order to adequately address this limitation, only lung function tests with a quality grade of A-D were included. To determine exercise tolerance even more precisely, the 6-min walk test appears to be an adequate method for assessing exercise tolerance and it may be included in an extended pulmonary function and exercise endurance examination.

Due to the study design, the occurrence of postoperative pulmonary complications could not be evaluated. Firstly, because pathological findings were communicated to the anesthesiologist in charge of the patient and secondly, because the data were anonymized after data collection. Intraoperative ventilation parameters were not recorded in the present study. With regard to postoperative pulmonary complications, this should be considered in further studies.

Whether the treatment of patients with previously unknown impaired lung function leads to an improved outcome should be evaluated in adequately powered studies.

Conclusion

A targeted lung function screening program detected a relevant number of previously unknown obstructive ventilatory disorders and gas exchange impairments in high-risk preoperative patients. These newly discovered sicknesses are associated with low metabolic equivalents. A relevant proportion of lung function measurements

and DLCO measurements showed pathological results in patients with MET > 4 and ASA 1–2, who would not have been identified as at-risk patients based on MET and ASA classification alone. These results suggest that the determination of lung function and DLCO may provide additional information in preoperative risk assessment. Whether the treatment of patients with previously unknown impaired lung function leads to an improved outcome should be evaluated in adequately powered studies.

Abbreviations

ASA	American Society of Anesthesiologists
ATS	American Thoracic Society
BMI	Body Mass Index
CO	Carbon monoxide
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
D _{lCO}	Diffusion capacity of the lung for carbon monoxide
DRKS	German Clinical Trials Register
EPCO	European Perioperative Clinical Outcome
ERS	European Respiratory Society
FEV ₁	Forced expiratory volume in one second
FVC	Forced vital capacity
ICU	Intensive care unit
MET	Metabolic equivalent of task
PPC	Postoperative pulmonary complications

Acknowledgements

We would like to express our sincere thanks to all patients who participated in this study. Furthermore, we would like to thank Anna Schieke, who helped with the data acquisition, and Petra Schlünß and Birgit Lembke who supported the organization and execution of the study.

Authors' contributions

CE was responsible for the design of the study, analysis and interpretation of the study results and writing the manuscript. NU was responsible for data acquisition, analysis, interpretation and writing the manuscript. AD analyzed patient data and lung functions testing. IF, NW, TB, DS were responsible for the design of the study, supervising the pulmonary function testing and critical editing of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Availability of data and materials

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

Medical Faculty of the Christian-Albrechts-University, Campus Kiel; Reference Number: D580/20.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Author details

¹University Medical Center Schleswig-Holstein, Anesthesiology and Intensive Care Medicine, Arnold-Heller Str. 3, 24105 Kiel, Germany. ²Christian-Albrechts University, Institute of Medical Informatics and Statistics, Brunswikerstr. 10, 24105 Kiel, Germany.

Received: 15 February 2023 Accepted: 22 February 2024

Published online: 05 March 2024

References

- Attaallah AF, Vallejo MC, Elzamzamy OM, Mueller MG, Eller WS. Perioperative risk factors for postoperative respiratory failure. *J Perioper Pract*. 2019;29(3):49–53.
- Balata H, Harvey J, Barber PV, Colligan D, Duerden R, Elton P, et al. Spirometry performed as part of the Manchester community-based lung cancer screening programme detects a high prevalence of airflow obstruction in individuals without a prior diagnosis of COPD. *Thorax*. 2020;75(8):655–60.
- Bédard A, Carsin AE, Fuertes E, Accordini S, Dharmage SC, Garcia-Larsen V, et al. Physical activity and lung function—Cause or consequence? *PLoS ONE*. 2020;15(8): e0237769.
- Bein T. Driving pressure in obese ventilated patients: another brick in the (chest) wall. *Intensive Care Med*. 2018;44(8):1349–51.
- Bernstein WK. Pulmonary function testing. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2012;25(1):11–6.
- Böhmer A, Defosse J, Geldner G, Rossaint R, Zacharowski K, Zwißler B, et al. Die aktualisierte Version der ASA-Klassifikation. *Anästhesiologie*. 2021;62:223–8.
- Bostock IC, Zarkowsky DS, Hicks CW, Stone DH, Malas MB, Goodney PP. Outcomes and risk factors associated with prolonged intubation after EVAR. *Ann Vasc Surg*. 2018;50:167–72.
- Brinson EL, Thornton KC. Preoperative Risk Assessment of Respiratory Failure. *Int Anesthesiol Clin*. 2018;56(1):26–46.
- Brueckmann B, Villa-Urbe JL, Bateman BT, Grosse-Sundrup M, Hess DR, Schlett CL, et al. Development and validation of a score for prediction of postoperative respiratory complications. *Anesthesiology*. 2013;118(6):1276–85.
- Canet J, Gallart L. Postoperative respiratory failure: pathogenesis, prediction, and prevention. *Curr Opin Crit Care*. 2014;20(1):56–62.
- Canet J, Sabaté S, Mazo V, Gallart L, de Abreu MG, Belda J, et al. Development and validation of a score to predict postoperative respiratory failure in a multicentre European cohort: A prospective, observational study. *Eur J Anaesthesiol*. 2015;32(7):458–70.
- David RA, Brooke BS, Hanson KT, Goodney PP, Genovese EA, Baril DT, et al. Early extubation is associated with reduced length of stay and improved outcomes after elective aortic surgery in the Vascular Quality Initiative. *J Vasc Surg*. 2017;66(1):79–94.e14.
- Davidson WJ, Mackenzie-Rife KA, Witmans MB, Montgomery MD, Ball GD, Egbogah S, et al. Obesity negatively impacts lung function in children and adolescents. *Pediatr Pulmonol*. 2014;49(10):1003–10.
- Farkhooy A, Bodegård J, Erikssen JE, Janson C, Hedenström H, Stavem K, et al. Cross-sectional and longitudinal analyses of the association between lung function and exercise capacity in healthy Norwegian men. *BMC Pulm Med*. 2018;18(1):118.
- Fuertes E, Carsin AE, Antó JM, Bono R, Corsico AG, Demoly P, et al. Leisure-time vigorous physical activity is associated with better lung function: the prospective ECRHS study. *Thorax*. 2018;73(4):376–84.
- García-Delgado M, Navarrete I, García-Palma MJ, Colmenero M. Postoperative respiratory failure after cardiac surgery: use of noninvasive ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2012;26(3):443–7.
- Gillies MA, Sander M, Shaw A, Wijesundera DN, Myburgh J, Aldecoa C, et al. Current research priorities in perioperative intensive care medicine. *Intensive Care Med*. 2017;43(9):1173–86.
- Gupta H, Gupta PK, Schuller D, Fang X, Miller WJ, Modrykamien A, et al. Development and validation of a risk calculator for predicting postoperative pneumonia. *Mayo Clin Proc*. 2013;88(11):1241–9.
- Hancox RJ, Rasmussen F. Does physical fitness enhance lung function in children and young adults? *Eur Respir J*. 2018;51(2).
- Henn MC, Zajarias A, Lindman BR, Greenberg JW, Melby SJ, Quader N, et al. Preoperative pulmonary function tests predict mortality after surgical or transcatheter aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016;151(2):578–85. 86.e1–2.
- Horvath B, Kloesel B, Todd MM, Cole DJ, Prielipp RC. The Evolution, Current Value, and Future of the American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification System. *Anesthesiology*. 2021;135(5):904–19.

- Huh J, Sohn TS, Kim JK, Yoo YK, Kim DK. Is routine preoperative spirometry necessary in elderly patients undergoing laparoscopy-assisted gastrectomy? *J Int Med Res.* 2013;41(4):1301–9.
- Iden T, Caliebe A, Renner J, Hertz MB, Höcker J, Suvanto-Scholz P, et al. The Extended Postoperative Care-Score (EXPO-Score)-An Objective Tool for Early Identification of Indication for Extended Postoperative Care. *J Clin Med.* 2019;8(10).
- Liu Y, An Z, Chen J, Liu Y, Tang Y, Han Q, et al. Risk factors for noninvasive ventilation failure in patients with post-extubation acute respiratory failure after cardiac surgery. *J Thorac Dis.* 2018;10(6):3319–28.
- Luzak A, Karrasch S, Thorand B, Nowak D, Holle R, Peters A, et al. Association of physical activity with lung function in lung-healthy German adults: results from the KORA FF4 study. *BMC Pulm Med.* 2017;17(1):215.
- Magor R, Dabush-Elisha I, Aviram D, Karol D, Syn-Hershko A, Schwartz R, et al. In-hospital mortality of patients requiring unplanned postoperative ventilatory support: a multicenter observational study. *Perioper Med (lond).* 2022;11(1):44.
- Mehari A, Afiren S, Ngwa J, Setse R, Thomas AN, Poddar V, et al. Obesity and Pulmonary Function in African Americans. *PLoS ONE.* 2015;10(10):e0140610.
- Mills GH. Respiratory complications of anaesthesia. *Anaesthesia.* 2018;73(Suppl 1):25–33.
- Ni Y, Yu Y, Dai R, Shi G. Diffusing capacity in chronic obstructive pulmonary disease assessment: A meta-analysis. *Chron Respir Dis.* 2021;18:14799731211056340.
- Pekkarinen E, Vanninen E, Lämsimies E, Kokkarinen J, Timonen KL. Relation between body composition, abdominal obesity, and lung function. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2012;32(2):83–8.
- Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J.* 2012;40(6):1324–43.
- Robitaille C, Dajczman E, Hirsch AM, Small D, Ernst P, Porubská D, et al. Implementation of a targeted screening program to detect airflow obstruction suggestive of chronic obstructive pulmonary disease within a presurgical screening clinic. *Can Respir J.* 2015;22(4):209–14.
- Shoji CY, Figueredo LC, Calixtre EM, Rodrigues CDA, Falcão ALE, Martins PP, et al. Reintubation of patients submitted to cardiac surgery: a retrospective analysis. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2017;29(2):180–7.
- Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J.* 2022;60(1).
- Thanavaro J, Taylor J, Vitt L, Guignon MS, Thanavaro S. Predictors and outcomes of postoperative respiratory failure after cardiac surgery. *J Eval Clin Pract.* 2020;26(5):1490–7.
- Ufoaroh CU, Ele PU, Anyabolu AE, Enemuoh EH, Emegoakor CD, Okoli CC, et al. Pre-operative pulmonary assessment and risk factors for post-operative pulmonary complications in elective abdominal surgery in Nigeria. *Afr Health Sci.* 2019;19(1):1745–56.
- Vogt B, Deuß K, Hennig V, Zhao Z, Lautenschläger I, Weiler N, et al. Regional lung function in nonsmokers and asymptomatic current and former smokers. *ERJ Open Res.* 2019;5(3).
- Weibel ER. Lung morphometry: the link between structure and function. *Cell Tissue Res.* 2017;367(3):413–26.
- Zettervall SL, Soden PA, Shean KE, Deery SE, Ultee KH, Alef M, et al. Early extubation reduces respiratory complications and hospital length of stay following repair of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 2017;65(1):58–64.e1.
- Zientara A, Schwegler I, Dzembali O, Bruijnen H, Bernheim A, Dick F, et al. Evaluation of metabolic equivalents of task (METs) in the preoperative assessment in aortic repair. *BMC Surg.* 2021;21(1):130.
- Zou RH, Wallace WD, Nouraie SM, Chan SY, Risbano MG. Lower DLco% identifies exercise pulmonary hypertension in patients with parenchymal lung disease referred for dyspnea. *Pulm Circ.* 2020;10(1):2045894019891912.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.